



Universidad de Valladolid



PROGRAMA DE DOCTORADO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA ENERGÉTICA

TESIS DOCTORAL:

**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA ALCANZADA EN LA RED DE
DISTRIBUCIÓN DE CALOR DE LA
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, MEDIANTE
LA MODELIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS
LÍNEAS BASE DE LOS CONSUMOS DE LOS
EDIFICIOS CONECTADOS”**

Presentada por Ana M^a. Marina Domingo, para
optar al grado de
Doctor/a por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:
D. Francisco Javier Rey Martínez
D. Julio San José Alonso

Dedicatoria

*A David y Alicia:
Lo mejor de mi vida, mi mayor regalo*

*“Lo difícil se consigue, lo imposible se intenta”
(Napoleón Bonaparte)*

*“Nunca es demasiado tarde para ser la persona que podrías haber sido”
(George Eliot)*

Agradecimientos

A mis padres con su apoyo incondicional, a mi familia por su comprensión, a mis hijos por su infinito cariño y a todos aquellos que sin entender el por qué, ni el para qué, lo han respetado.

A D. Julio Francisco San José Alonso, por sus ánimos, consejos, paciencia y múltiples revisiones, a D. Sergio Lorenzo González, por toda la información facilitada, a D. Francisco Javier Rey Martínez por su apoyo, a D. Javier M^a Rey Hernández y Dña Raquel Mata Crespo por sus aportes en el proceso.

Al resto del departamento de Ingeniería Energética D. Eloy Velasco Gómez y Dña Ana Tejero González, por sus constantes ánimos y palabras de aliento.

A la Universidad de Valladolid (UVA) a la Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León (SOMACYL), al Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP), y a los integrantes del proyecto: GIRTER (Nuevo Gestor Inteligente para Redes Térmicas), proyecto financiado por Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del Programa RETOS COLABORACIÓN 2016 del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, y dentro del objetivo temático: Promover el desarrollo tecnológico, la innovación y una investigación de calidad.

Resumen

Las redes de calor se han convertido en una apuesta indiscutible para todas aquellas ciudades que desean disminuir sus emisiones de CO₂, gracias, sobre todo, a la posibilidad de sustituir los combustibles fósiles de los sistemas convencionales de calefacción por energías renovables como la biomasa. A finales de 2015, se inauguró la red de calor urbana con biomasa forestal de la Universidad de Valladolid (UVA), proyecto que comenzó atendiendo la demanda térmica de 27 edificios, 23 de los cuales pertenecen a la Univesridad, distribuidos entre el Campus Universitario Miguel Delibes y el Río Esgueva. En el año 2019, se conecto el Hospital Clinico y en un futuro próximo se conectarán otros tres edificios de la UVA: Palacio de congresos Conde Ansúrez, la Biblioteca Reina Sofía y la Casa del Estudiante, la infraestructura dará servicio a un total de 31 edificios públicos.

Esta tesis analiza la eficiencia energética alcanzada en cada uno de los edificios de la UVA conectados a la red y cuantifica las emisiones de CO₂ evitadas, dado que uno de los objetivos del proyecto era obtener un ahorro anual en calefacción de al menos el 15%. La presente tesis verifica el grado de consecución de dicho objetivo, obteniendo los modelos matemáticos que representan la interacción multivariable de la tendencia del consumo frente a las condiciones climáticas, con un alto coeficiente de determinación. Para ello, siguiendo la opción C de la metodología EVO, basada en el procesado y tratamiento de consumos globales, se han recopilado datos de dos años antes de la implementación del proyecto y datos de tres años posteriores a la ejecución de la red de calor, de los 23 edificios de la UVA que están conectados a la red y de las variables independientes que pudieran condicionarlos. Esos datos han sido procesados estadísticamente con el programa SPSS.

Como resultado se ha llegado a la cuantificación de la influencia de los parámetros analizados en el consumo térmico de cada uno de los edificios, obteniendo las correlaciones existentes entre las distintas variables y la fuerza de asociación entre las mismas, de manera que considerando los modelos matemáticos obtenidos como las líneas base de sus consumos térmicos, se han predecido con unos residuos admisibles y una variabilidad acotada en el 95 % de nivel de confianza, los consumos esperados. La tesis presenta la metodología estadística empleada para la aceptación de esos modelos, seleccionando las variables climáticas más influyentes; y explica como de la comparación estadística entre las predicciones y los valores reales de los datos obtenidos en los tres años de funcionamiento de la red de calor, se ha podido verificar si las diferencias encontradas son estadísticamente significativas y en caso de aceptación, éstas han sido cuantificadas.

Abstract

District Heatings have become an undeniable bet for all those cities that wish to reduce their CO₂ emissions, due to the possibility of replacing fossil fuels with renewable energies such as biomass. At the end of 2015, the University of Valladolid inaugurated a heating network to satisfy to the thermal demand of 27 buildings, 23 of which belong to the University, distributed between two university campus: Miguel Delibes and Esgueva. In 2019, the Clinical Hospital was connected and in the near future, three other UVA buildings will be connected: Conde Ansúrez Conference Center, Reina Sofía Library and Student House, then infrastructure will provide service to 31 public buildings.

This thesis analyzes the energy efficiency achieved in each of the UVA buildings connected to the grid and quantifies avoided CO₂ emissions, given that one of the objectives of the project was to obtain an annual heating savings of at least 15%. The present thesis verifies the degree of achievement of such objective, obtaining the mathematical models that represent the multivariable interaction between consumption tendency and climatic conditions, with a high coefficient of determination. In order to make this possible, option C of the EVO methodology, based on the processing and treatment of global consumption, was followed. Data had been collected for two years before the implementation of the project and for three years after heating network, of the 23 UVA buildings, which were connected to the network. These data have been processed statistically with SPSS software.

As a result, the influence of the analyzed parameters of thermal consumption of each of the buildings has been quantified, obtaining correlations among different variables, so considering the mathematical models as baselines of their thermal consumption, forecasted consumption could be predicted with a confidence level of 95%. The thesis presents the statistical methodology used to accept these models and it explains how statistical comparisons between predictions and real operation values, has been able to verify whether the found differences are statistically significant and in case of acceptance, these have been quantified.

ÍNDICE

ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS	3
ESTRUCTURA DE LA TESIS	4
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. CONTEXTO ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL	5
1.1.1. <i>Situación energética</i>	5
1.1.2. <i>Situación medioambiental</i>	8
1.1.3. <i>Medidas a implantar para un Desarrollo Sostenible</i>	11
1.2. REDES DE CALOR	16
1.2.1. <i>Presentación</i>	16
1.2.2. <i>Elementos principales</i>	17
1.2.3. <i>Ventajas y Limitaciones</i>	22
1.2.4. <i>Evolución de las redes</i>	24
1.2.5. <i>Contexto normativo</i>	26
1.2.6. <i>Situación actual y perspectivas de futuro</i>	30
1.2.7. <i>Líneas de investigación en redes de calor</i>	34
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.	37
2.1. CUESTIONES A RESOLVER Y APORTE DE LA TESIS	37
2.2. ESTADO DE OTRAS INVESTIGACIONES.....	40
2.3. HIPÓTESIS DE PARTIDA Y LIMITACIONES.....	42
2.4. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA.....	44
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL CASO EN ESTUDIO.	61
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED.	61
3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS DE LA UVA	79
3.3. DATOS DE PARTIDA.....	83
3.3.1. <i>Variables climáticas</i>	83
3.3.2. <i>Consumos térmicos anteriores y posteriores a la red</i>	93
3.3.3. <i>Factores de emisión de CO₂</i>	100
3.3.4. <i>Precios de los combustibles</i>	102
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. CAMPUS MIGUEL DELIBES.	106
4.0. INTRODUCCIÓN	106
4.1. EDIFICIO D1. APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA	107
4.2. EDIFICIO D2. BIBLIOTECA DE LOS APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA.....	111
4.3. EDIFICIO D3. CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS APLICADAS. CTTA.....	115

Índice

4.4.	EDIFICIO D4. BIBLIOTECA AULARIO MIGUEL DELIBES.....	119
4.5.	EDIFICIO D5. INSTITUTO UNIVERSITARIO DE OFTALMOLOGÍA APLICADA. IOBA	123
4.6.	EDIFICIO D6. FACULTAD DE CIENCIAS.....	127
4.7.	EDIFICIO D7. TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA	131
4.8.	EDIFICIO D8. EDIFICIO DE QUÍMICA FINA Y MATERIALES AVANZADOS. QUIFIMA	135
4.9.	EDIFICIO D9. GIMNASIO DE LA UVA.....	139
4.10.	EDIFICIO D10. CENTRO DE IDIOMAS	143
4.11.	EDIFICIO D11. FACULTAD DE EDUCACIÓN Y TRABAJO SOCIAL	147
4.12.	EDIFICIO D12. EDIFICIO DE I+D.....	151
4.13.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	155
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. CAMPUS RÍO ESGUEVA.....		165
5.0.	INTRODUCCIÓN	165
5.1.	EDIFICIO E1. EDIFICIO DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO.....	166
5.2.	EDIFICIO E2. FACULTAD DE COMERCIO	170
5.3.	EDIFICIO E3. FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS.....	174
5.4.	EDIFICIO E4. ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES. ANTIGUA FACULTAD DE CIENCIAS	178
5.5.	EDIFICIO E5. EDIFICIO ALFONSO VIII	182
5.6.	EDIFICIO E6. COLEGIO MAYOR FEMENINO SANTA CRUZ	186
5.7.	EDIFICIO E7. INSTITUTO DE BIOLOGÍA GENÉTICA Y MOLECULAR.....	190
5.8.	EDIFICIO E8. FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD	194
5.9.	EDIFICIO E13. FACULTAD DE ECONÓMICAS	199
5.10.	EDIFICIO E14. AULARIO DEL CAMPUS ESGUEVA.....	203
5.11.	EDIFICIO E15. ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (SEDE PASEO DEL CAUCE)	207
5.12.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	211
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES		221
6.1.	CONCLUSIONES SOBRE LA METODOLOGÍA	221
6.2.	CONCLUSIONES SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	229
6.3.	CONCLUSIONES SOBRE LA MEJORA MEDIOAMBIENTAL.....	231
6.4.	FUTURO DE LA RED. NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	232
ANEXO I. PROTOCOLOS DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN		235
ANEXO II. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.....		239
AII.1.	NOMENCLATURA.	239
AII.2.	INTERVALO DE CONFIANZA.....	242
AII.3.	CONTRASTE DE HIPÓTESIS Y ZONAS DE RECHAZO.....	244
AII.4.	REGRESIÓN.....	246
AII.5.	PRUEBAS PARAMÉTRICAS. T-STUDENT.....	252
ANEXO III. DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS DE LA RED DE CALOR DE LA UVA.....		255
AIII.1.	EDIFICIOS DEL CAMPUS MIGUEL DELIBES.	255
AIII.2.	EDIFICIOS DEL CAMPUS RÍO ESGUEVA.	264
ANEXO IV. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS MIGUEL DELIBES.....		273
AIV.1.	EDIFICIO D1. APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA	273
AIV.1.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	<i>273</i>
AIV.1.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	<i>278</i>
AIV.1.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	<i>284</i>
AIV.1.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	<i>285</i>

Índice

AIV.1.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.....</i>	292
AIV.1.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	293
AIV.2.	EDIFICIO D2. BIBLIOTECA DE LOS APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA.....	294
AIV.2.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	294
AIV.2.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	297
AIV.2.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	299
AIV.2.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	300
AIV.2.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.....</i>	306
AIV.2.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	307
AIV.3.	EDIFICIO D3. CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS APLICADAS. CTTA.....	308
AIV.3.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	308
AIV.3.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	310
AIV.3.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	313
AIV.3.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	314
AIV.3.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.....</i>	320
AIV.3.6.	<i>Estimación del ahorro económico previsible.....</i>	321
AIV.4.	EDIFICIO D4. BIBLIOTECA AULARIO MIGUEL DELIBES.....	322
AIV.4.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	322
AIV.4.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	324
AIV.4.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	328
AIV.4.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	329
AIV.4.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.....</i>	334
AIV.4.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	335
AIV.5.	EDIFICIO D5. INSTITUTO UNIVERSITARIO DE OFTALMOLOGÍA APLICADA. IOBA.....	336
AIV.5.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	336
AIV.5.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	338
AIV.5.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	341
AIV.5.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	342
AIV.5.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.....</i>	347
AIV.5.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	348
AIV.6.	EDIFICIO D6. FACULTAD DE CIENCIAS.....	349
AIV.6.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	349
AIV.6.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	351
AIV.6.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	354
AIV.6.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	355
AIV.6.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.....</i>	360
AIV.6.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	361
AIV.7.	EDIFICIO D7. EDIFICIO DE TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA.....	362
AIV.7.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	362
AIV.7.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	364
AIV.7.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	367
AIV.7.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	368
AIV.7.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.....</i>	373
AIV.7.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	374
AIV.8.	EDIFICIO D8. EDIFICIO DE QUÍMICA FINA Y MATERIALES AVANZADOS (QUIFIMA).....	375
AIV.8.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	375
AIV.8.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	380
AIV.8.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	386
AIV.8.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	388
AIV.8.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.....</i>	394

Índice

AIV.8.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	395
AIV.9.	EDIFICIO D9. GIMNASIO DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN.....	396
AIV.9.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	396
AIV.9.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	398
AIV.9.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	401
AIV.9.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	402
AIV.9.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.....</i>	407
AIV.9.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	408
AIV.10.	EDIFICIO D10. CENTRO DE IDIOMAS.....	409
AIV.10.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	409
AIV.10.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	411
AIV.10.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	414
AIV.10.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	415
AIV.10.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.....</i>	420
AIV.10.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	421
AIV.11.	EDIFICIO D11. FACULTAD DE EDUCACIÓN Y TRABAJO SOCIAL.....	422
AIV.11.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	422
AIV.11.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	426
AIV.11.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	432
AIV.11.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	433
AIV.11.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.....</i>	439
AIV.11.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	440
AIV.12.	EDIFICIO D12. EDIFICIO DE I+D.....	441
AIV.12.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	441
AIV.12.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	443
AIV.12.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	446
AIV.12.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	447
AIV.12.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.....</i>	452
AIV.12.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	453
ANEXO V. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS RÍO ESGUEVA.....		455
AV.1.	EDIFICIO E1. EDIFICIO DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO.....	455
AV.1.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	455
AV.1.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	458
AV.1.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	461
AV.1.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	462
AV.1.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.....</i>	466
AV.1.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	467
AV.2.	EDIFICIO E2. FACULTAD DE COMERCIO.....	468
AV.2.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	468
AV.2.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	470
AV.2.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	474
AV.2.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	475
AV.2.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.....</i>	479
AV.2.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	480
AV.3.	EDIFICIO E3. FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS.....	481
AV.3.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	481
AV.3.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos.....</i>	486
AV.3.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	493
AV.3.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	494

Índice

AV.3.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	500
AV.3.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.</i>	501
AV.4.	EDIFICIO E4. ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (ANTIGUA FACULTAD DE CIENCIAS)	502
AV.4.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.</i>	502
AV.4.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	504
AV.4.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.</i>	507
AV.4.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.</i>	508
AV.4.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	512
AV.4.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.</i>	513
AV.5.	EDIFICIO E5. EDIFICIO ALFONSO VIII.	514
AV.5.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.</i>	514
AV.5.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	516
AV.5.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.</i>	519
AV.5.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.</i>	520
AV.5.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	525
AV.5.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.</i>	526
AV.6.	EDIFICIO E6. COLEGIO MAYOR FEMENINO SANTA CRUZ.	527
AV.6.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.</i>	527
AV.6.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	529
AV.6.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.</i>	532
AV.6.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.</i>	533
AV.6.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	538
AV.6.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.</i>	539
AV.7.	EDIFICIO E7. INSTITUTO DE BIOLOGÍA GENÉTICA Y MOLECULAR.	540
AV.7.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.</i>	540
AV.7.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	542
AV.7.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.</i>	545
AV.7.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.</i>	546
AV.7.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	551
AV.7.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.</i>	552
AV.8.	EDIFICIO E8. FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD.	553
AV.8.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.</i>	553
AV.8.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	558
AV.8.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.</i>	564
AV.8.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.</i>	565
AV.8.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	572
AV.8.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.</i>	573
AV.9.	EDIFICIO E13. FACULTAD DE ECONÓMICAS.	574
AV.9.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.</i>	574
AV.9.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	576
AV.9.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.</i>	580
AV.9.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.</i>	581
AV.9.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	586
AV.9.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.</i>	587
AV.10.	EDIFICIO E14. AULARIO CAMPUS ESGUEVA.	588
AV.10.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.</i>	588
AV.10.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	590
AV.10.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.</i>	593
AV.10.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.</i>	594
AV.10.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	599

Índice

AV.10.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	<i>600</i>
AV.11.	EDIFICIO E15. ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (SEDE PASEO DEL CAUCE).	601
AV.11.1.	<i>Obtención de la línea base de referencia energética.....</i>	<i>601</i>
AV.11.2.	<i>Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos</i>	<i>606</i>
AV.11.3.	<i>Obtención de los consumos térmicos previstos.....</i>	<i>612</i>
AV.11.4.	<i>Estudio de la existencia de diferencias significativas.....</i>	<i>613</i>
AV.11.5.	<i>Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.</i>	<i>619</i>
AV.11.6.	<i>Estimación del precio máximo de compra a la red.....</i>	<i>620</i>
BIBLIOGRAFÍA		621
REFERENCIAS		637
LISTADO DE TABLAS		653
LISTADO DE FIGURAS		667

ANTECEDENTES

A finales de 2015, se inauguró la red de calor urbana con biomasa forestal de la Universidad de Valladolid. Durante las tres primeras temporadas de funcionamiento, la red atendió la demanda térmica de 27 edificios: 4 pertenecientes a la Junta de Castilla y León y 23 a la Universidad de Valladolid, de los que 12 se agrupan en el Campus Universitario Miguel Delibes y 11 en el Campus del Río Esgueva. Durante el verano de 2018 se incorporó el Hospital Clínico Universitario y próximamente se añadirán otros tres edificios de la Universidad: el Palacio de Congresos Conde Ansúrez, la Biblioteca Reina Sofía y la Casa del Estudiante, con lo que la red dará servicio a un total de 31 edificios públicos.

Uno de los objetivos con los que se ideó la red era obtener un ahorro anual en calefacción de al menos el 15%; El ahorro energético es una magnitud que no puede ser medida directamente, pues se trata de cuantificar “aquello que se deja de consumir”; por lo que no puede ser calculado por mera diferencia entre el consumo final y el consumo inicial dado que para que la diferencia fuera coherente, al menos, sería necesario contar con las mismas condiciones climáticas en ambos escenarios.

Para crear esas mismas condiciones es necesario investigar y desarrollar modelos matemáticos que representen la interacción multivariable de la tendencia de los consumos frente a las condiciones climáticas con un alto coeficiente de determinación, un nivel de confianza del 95% y que cumplan todas las hipótesis estadísticas necesarias que validen los modelos de regresión obtenidos.

Uno de los resultados de la obtención de esos modelos es poder cuantificar la influencia de los parámetros analizados en el consumo global de cada uno de los edificios, obteniendo las correlaciones existentes entre las distintas variables y la fuerza de asociación entre las mismas, de manera que el modelo matemático conseguido pueda predecir con unos residuos admisibles y una variabilidad acotada, el consumo esperado y puedan convertirse en los patrones de las líneas base de los consumos térmicos esperados.

De la comparación entre las predicciones de los modelos para las temporadas posteriores a la construcción de la red, con el valor real de los datos obtenidos en los años de funcionamiento de la red de calor y utilizando técnicas estadísticas de contraste de hipótesis, se verificará si las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, permitiendo aceptar o rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias entre poblaciones de muestras relacionadas y cuando las diferencias sean significativas serán cuantificadas para obtener el grado de ahorro térmico alcanzado.

Para ello, siguiendo la opción C de la metodología EVO, basada en el procesado y tratamiento de consumos globales, se han recopilado datos de dos temporadas anteriores a la red y de tres temporadas después de la implementación del proyecto, de los 23 edificios de la UVA que están conectados a la red y de las variables climáticas independientes que pudieran condicionarlos. Esos datos han sido procesados estadísticamente con el programa SPSS.

Los datos procesados son los relativos a la energía final comprada por la UVA, en dos momentos distintos: durante las dos temporadas de calefacción anteriores a la construcción de la red, donde la energía final comprada provenía de los suministradores de gas natural y gasóleo y durante las tres temporadas de calefacción siguientes al funcionamiento de la red calor; donde la energía final comprada por la UVA viene dada en su mayor parte por la compra de la energía al gestor de la red de calor, medida en el secundario del intercambiador de cada edificio más la energía que se ha seguido comprado a los suministradores de gas natural y gasóleo como apoyo puntual a la energía proporcionada por la red.

Además de la comprobación de los ahorros de energía suministrada, se ha simulado el ahorro en emisiones de CO₂ asociado a la energía final comprada por la UVA en las dos situaciones señaladas y fijando un ahorro económico en la compra de la energía final del 15%, el precio que debería tener la energía comprada al gestor de la red para obtener ese ahorro del 15%, para lo cual se ha partido de unos precios medios estadísticos de los combustibles fósiles utilizados.

OBJETIVOS

El objetivo fundamental de la presente tesis es conocer y cuantificar el ahorro de energía final suministrada a los edificios de la Universidad de Valladolid, alcanzado durante las tres primeras temporadas de calefacción posteriores a la ejecución de red en los 23 edificios pertenecientes a la Universidad de Valladolid.

En resumen el presente trabajo de investigación permitirá:

- Poder predecir el consumo de energía térmica de los edificios de la Universidad al modificar las variables climáticas que más le influyan
- Determinar cuáles son las variables más influyentes en el consumo térmico representado en la línea base
- Obtener una curva matemática que represente la línea base y tenga en cuenta la variación de los parámetros definidos como los más representativos
- Conocer cuantitativamente la evolución temporal del consumo térmico antes de la red de calor.
- Conocer con exactitud la reducción obtenida en el consumo térmico y por tanto poder estimar el ahorro en emisiones de CO₂ que ha supuesto la implantación de la red de calor
- Estimar cuál pueden ser los consumo futuros esperados
- Servir de herramienta para poder comparar los consumos futuros esperados con los obtenidos en la realidad
- En base a ese conocimiento a futuro, poder implementar las medidas oportunas para corregir cualquier desviación detectada asociada a la eficiencia de los sistemas
- Poder dar explicación a las desviaciones que se detecten de la línea base establecida para el siguiente periodo de demanda.
- Servir de base para la implantación de un sistema de gestión energética en la red

ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis está estructurada en seis capítulos y cinco anexos.

En el Primer Capítulo se realiza una pequeña introducción a la situación energética y medioambiental que ha motivado el auge de las redes de calor, además se presenta las principales características de las redes de calor, sus perspectivas de futuro y las líneas de investigación abiertas

El Segundo Capítulo recoge las cuestiones que se presenten resolver con la tesis, el estado de otras investigaciones, las hipótesis tenidas en cuenta y se expone la metodología utilizada.

El Tercer Capítulo se describe el funcionamiento general de la red de calor, los edificios de la Universidad de Valladolid (UVA) conectados a la misma y los datos de partida tenidos en cuenta para la realización del estudio, tanto los relativos a las variables climáticas como los datos de la energía final comprada por la UVA desde el 2012 hasta el 2018.

En el Cuarto Capítulo se resumen los resultados obtenidos para cada uno de los doce edificios del Campus Miguel Delibes conectados a la red de calor, siguiendo la metodología explicada en el Segundo Capítulo y en el Quinto Capítulo los resultados obtenidos para cada uno de los once edificios del Campus Río Esgueva conectados a la red de calor.

La tesis finaliza con el Capítulo Sexto, donde se recopilan las conclusiones obtenidas y se avanzan cuáles podrían ser los siguientes pasos a analizar en un futuro.

Los cinco anexos, suministran una información extra en cuanto a los protocolos de medida y verificación utilizados internacionalmente, los conceptos básicos de estadística utilizados según la metodología de la tesis, una descripción más detallada de cada uno de los edificios de la UVA conectados a la red de calor y el desarrollo completo del análisis realizado para cada edificio.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Contexto energético y medioambiental

1.1.1. Situación energética

La energía es sinónimo de actividad, de riqueza y de progreso, de hecho los países más avanzados del mundo son los que más energía consumen, además ese consumo lejos de disminuir sigue aumentando con el paso del tiempo.

Hoy consumimos unas 20 veces más energía que a principios del siglo XX. La población humana se ha multiplicado desde entonces por un factor algo superior a 6, lo cual quiere decir que los 7.000 millones de seres humanos actuales consumimos, en promedio, unas 3 veces más energía per cápita que el ser humano de principios del siglo XX. (Prieto, 2011) [1]

El problema del consumo energético, se asocia directamente con el problema medioambiental que ocasiona; sobre todo por las emisiones que producen los combustibles fósiles que han estado presentes durante toda la historia, con mayor o menor protagonismo.

Durante la revolución industrial de los siglos XVIII y XIX, el carbón fue la energía primaria más utilizada; pero con la llegada de la era del transporte en el siglo XX, el petróleo se convierte en el combustible fósil más consumido, hasta que las crisis de 1973 y 1979 provocan que el precio del barril pase de 5 a 45 dólares americanos, lo que hace que el carbón y la energía nuclear se coloquen en los primeros puestos del consumo energético mundial.

En el siglo XXI, el petróleo vuelve a estar a la cabeza de los combustibles más utilizados. En el 2017, la energía total primaria consumida en el mundo fue de 13.511 millones de toneladas de petróleo equivalente (Mtep).

En ese mismo año, la Unión Europea consumió 1.689 Mtep, lo que representa el 12,5% del total y España 139 Mtep (el 1% del consumo mundial) (BP, 2018) [2]. España se convierte, así, en el decimonoveno país más consumidor del mundo. Siendo China el primer consumidor mundial con un porcentaje del 23%, seguido por Estados Unidos con el 17% e India con el 6%.

En el 2017, más de las tres cuartas partes del consumo energético, tanto en el mundo (85%), como en Europa (75%) o en España (76%), tuvieron su origen en los combustibles fósiles. Se estima que en el año 2040, el consumo de combustibles fósiles en el mundo se habrá reducido hasta representar el 75%, la energía nuclear se incrementará en tres puntos y en siete puntos las energías renovables, ascendiendo el consumo total mundial a 17.934 Mtep. (International Energy Agency (IEA), 2017) [3]. Aunque el uso de combustibles fósiles rondará, todavía, las tres cuartas partes del consumo mundial, el aumento en la utilización de energías renovables, permitirá que países como España (octavo país con más dependencia energética de la Unión Europea, con un porcentaje del 72,9 %, siendo la media europea del 53,1 %. (Díaz, 2016) [4]) reduzcan su dependencia energética.

En el 2014, de los 118,4 Mtep de energía primaria consumidos por España, en Castilla y León se consumieron 8,94 Mtep, lo que representa el 7,5% del consumo primario español. (Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). Junta de Castilla y León, 2016) [5].

En cuanto a los sectores, el mayor consumidor a nivel mundial, según datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en el 2016, fue la industria con un 37%, seguido del transporte con un 29%, el sector residencial con un 22%, sector servicios con un 8% y la agricultura y resto de consumos con un 4%.

Sin embargo, en la Unión Europea (UE) y en España, en el 2016, el mayor sector consumidor fue el transporte, con un 33 % en la UE (Eurostat, 2018) [6] y con un 43 % en España (Mártel, 2014) [7].

El sector residencial llegó al 26% en la UE y al 18% en España. Esta distribución por sectores, para el mundo, la Unión Europea y España se muestra en la Figura 1.

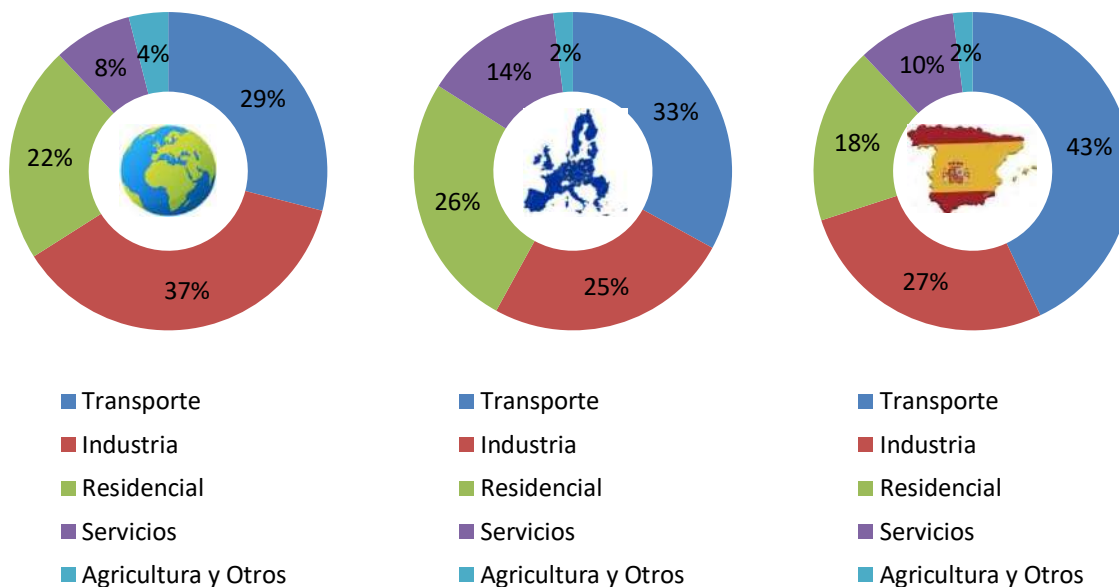


Figura 1. Distribución del consumo de energía final por sectores en el mundo, UE y España. 2016

Castilla y León, sigue la tendencia de Europa y España, poniendo el transporte a la cabeza de los sectores más consumidores, seguido por la industria y el sector residencial, como se aprecia en la Figura 2. (Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). Junta de Castilla y León, 2016) [5]

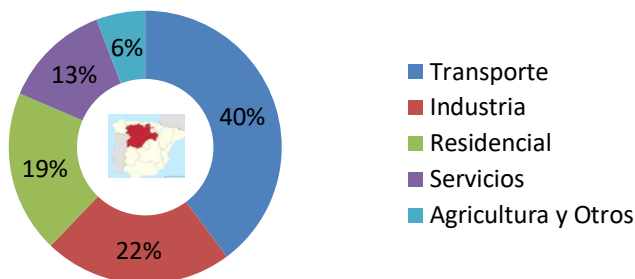


Figura 2. Distribución del consumo de energía final por sectores en Castilla y León. 2014

Durante el 2017, en España, el sector de los edificios alcanzó un peso del 30% en el consumo de energía final, distribuyéndose con un 18% el consumo de los edificios del sector residencial y con un 12% el consumo de los edificios integrado por los servicios y las Administraciones Públicas. (Ministerio de Fomento. Gobierno de España, 2017) [8].

En Castilla y León, en el 2014, el consumo del sector de los edificios, representó un 32%, distribuyéndose con un 17% el consumo residencial, un 13% los edificios del sector servicios y Administraciones Públicas y un 2% otros edificios. (Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). Junta de Castilla y León, 2016) [5]

En España, de todo el consumo del sector edificatorio, más del 65% es utilizado para paliar las necesidades de calefacción, que son satisfechas en un 82% de los casos con sistemas individuales de calefacción y en un 8% con sistemas centralizados. La energía mayoritariamente utilizada en los sistemas de calefacción son: la electricidad en un 46% de los casos y el gas natural en un 32%. (IDAE, 2011) [9].

Con todo esto, se puede afirmar que el sector de los edificios consume alrededor de una tercera parte de la energía que se consume en el mundo y es, por lo tanto, el responsable del 30% de las emisiones de CO₂.

1.1.2. Situación medioambiental

El consumo de energía siempre ha desembocado en el aumento de emisiones contaminantes; pero este problema no se identificó hasta el siglo XIX, cuando se empezó a hablar del efecto invernadero y del resto de los problemas medioambientales asociados como la lluvia ácida o la reducción de la capa de Ozono. Fue en 1950, cuando se comienza a recoger datos de las concentraciones de CO₂ y en 1980 se observa que dichas concentraciones había aumentado muy rápidamente (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2007) [10], es entonces cuando los países empiezan a proponer medidas para frenar y reducir este aumento de emisiones.

En 1979, se celebra la primera conferencia mundial sobre el Clima, en 1988 se crea el Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) y en 1990 se presenta el primer informe donde se afirmaba que el calentamiento atmosférico era cierto y se aconsejaba iniciar medidas para evitar que siguiera aumentando.

En 1992, en Río de Janeiro, se celebra la conocida “Cumbre para la Tierra”, donde se firma la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ratificada por 195 miembros, los denominados “Partes en la Convención”.

La Convención nace como documento marco al que irán incorporándose otros textos más concretos y específicos, así en 1997, se incorporará el Protocolo de Kyoto que entrará en vigor en el 2005, cuando con la firma de Rusia, logró ser ratificado por las Partes que representasen al menos el 55 % del total de las emisiones de dióxido de Carbono. El objetivo de la Convención es estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias peligrosas en el sistema climático, estableciendo que ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

El año de referencia para establecer los objetivos de emisiones se fijó en el 1990, los países más industrializados son los que debían evitar en mayor medida seguir aumentando sus niveles de emisiones.

El primer periodo de compromiso 2008-2012, tuvo por objetivo reducir al menos un 5% las emisiones de 1990, para lograr este objetivo se aprobaron varias herramientas, como el libre comercio de los permisos de emisión, con la idea de lograr un balance mundial de reducción de emisiones, sin importar donde se reduzcan las emisiones siempre y cuando se eliminen de la atmósfera del planeta. La secretaria de la Convención, en Born, Alemania, fue nombrada para llevar el registro internacional de transacciones y comprobar que eran acordes a las reglas de Protocolo.

Para el primer periodo de compromiso del protocolo de Kioto, la Unión Europea, se fijó como objetivo una reducción del 8 % respecto a las emisiones de 1990, y finalmente logró reducir un 19,2 % (Secretariado de REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2016) [11].

En el 2012, las Partes se reunieron en Doha, Qatar, donde se lanzó un nuevo periodo de compromiso del Protocolo de Kyoto (2013-2020), que se ratificó en el 2015 en París.

En diciembre de 2015, 195 países firmaron el Acuerdo de París, con el nuevo compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar que la temperatura del Planeta suba más de 2°C respecto a la era preindustrial y proseguir los esfuerzos para que ese aumento no supere los 1,5°C. Esto, según el escenario que contendría las medidas de reducción más ambiciosas, se traduce en que las emisiones deberían empezar a reducirse antes del año 2015 y en el 2050 se deberían haber reducido al menos un 50 % respecto al 2000 y un 80% comparadas con las de 1990.

Según datos publicados por la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency (IEA), 2018) [12], las emisiones del mundo en el año 2000 fueron de 23,01 gigatoneladas de CO₂ (Gt CO₂) y en el año 2015 habían ascendido a 32,11 Gt CO₂, bajando en el 2016 a 32,08 Gt CO₂, pero volviendo a incrementarse en el 2017 hasta los 32,53 Gt CO₂, como puede verse en la Figura 3.

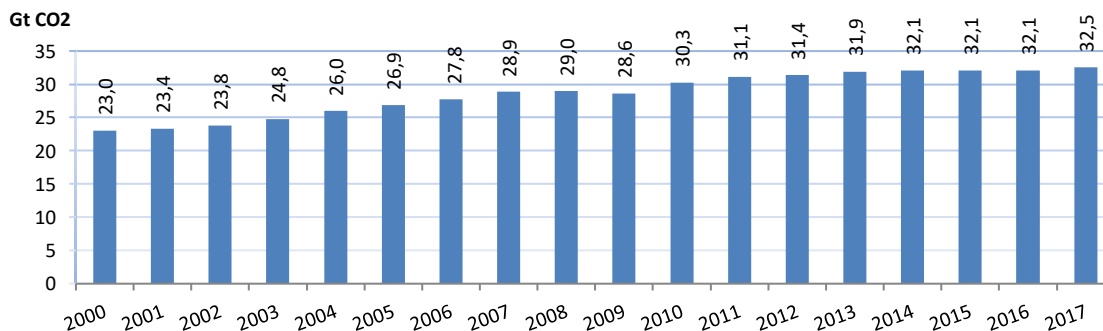


Figura 3. Evolución de las emisiones de CO₂ mundiales desde 2000 hasta 2017

Para conseguir los acuerdos alcanzados en París, La Unión Europea se fijó para el periodo 2013-2020, el compromiso de una reducción del 20 % sus emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los niveles del año 1990 y para el periodo 2021-2030, en una reducción del al menos un 40 % en comparación con los niveles de 1990 (Ministerio de Agricultura y Pesca, alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA, 2016) [13]

Para lograr el compromiso conjunto, a cada país se le fijó un objetivo diferente, en función de variables económicas y medioambientales, desde el una reducción del 21% para Alemania, hasta un aumento del 27 % para Portugal. España tenía que no aumentar más del 15 % sus emisiones, tomando como base las 290.735 toneladas de CO₂ equivalente emitidas en 1990, el objetivo fijado para el 2012 era no superar las 334.346 toneladas de CO₂ equivalente; pero durante el periodo 2008 – 2012, España, supera el 23,7% y debido a este incumplimiento, tuvo que adquirir derechos de emisión, concretamente pagó 800 millones de euros a Polonia por contaminar los miles de toneladas que Polonia no emitió. (Eurostat, 2015) [14]

A finales del 2013, España cumplió el objetivo fijado para el 2012, emitiendo un 110,8 % más que en 1990 (inferior al objetivo de no superar el 115 %), pero en el 2015 y 2017 volvió a situarse por encima con unos índices del 115,6 % y 116,3% respectivamente. (Tsolar, 2018) [15], (Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España, 2018) [16], (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España, 2018) [17]. Esta evolución se puede apreciar en la Figura 4.

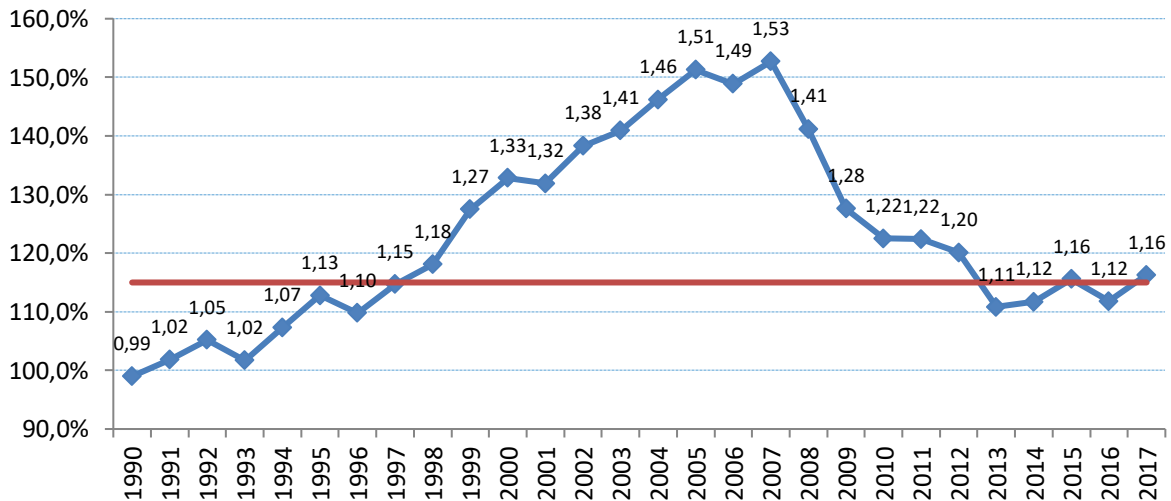


Figura 4. Índice de evolución de las emisiones de CO₂ en España (1990-2017)

A partir del 2013, se fijan nuevos objetivos para los países miembros de la Unión Europea y para España se fija el objetivo de reducir en un 26% sus emisiones de gases de efecto invernadero en el 2030 comparados con los emitidos en el 2005 (European Parliament, 2018) [18]. Las emisiones en el 2005 fueron de 439.556 toneladas de CO₂, por lo que en el 2030, España no deberá superar las 325.271 toneladas de CO₂; esto comparado con las emisiones de 1990, supone no superar el 112% de las emisiones de 1990.

Castilla y León, que con el 9% de todas las emisiones de CO₂ de España, es la quinta Comunidad más contaminante, superada por Andalucía (19%), Asturias (16%), Galicia (11%) y Cataluña (10%) (Europa Press, 2017) [19], posee una Estrategia Regional de Cambio Climático 2009-2012-2020, integrada en la Estrategia de Eficiencia Energética de Castilla y León 2016-2020 (Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). Junta de Castilla y León, 2016) [5], que fija como objetivo la reducción de un 30% las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía en Castilla y León, respecto a las emisiones de 1990.

Durante los próximos años, Castilla y León y España tendrán que seguir haciendo un gran esfuerzo para poder cumplir los compromisos medioambientales asumidos y lograr que España se mantenga en una cifra no superior a las 325 Mt de CO₂.

1.1.3. Medidas a implantar para un Desarrollo Sostenible

Según la Agencia Internacional de la Energía, (Internacional Energy Agency (IEA), 2017) [20], en el año 2040, bajo el escenario de Desarrollo Sostenible, la eficiencia energética se habrá mejorado enormemente, la generación de energía estará casi descarbonizada, siendo la participación de las energías renovables en más del 60% y de la energía nuclear en el 15%.

Para lograr ese escenario, la Agencia (Internacional Energy Agency (IEA), 2016) [21], enumera una serie de medidas que serían necesarias implantar, medidas que se centran en cinco grandes bloques:

- Aumentar la eficiencia energética en los sectores de la industria, los edificios y los transportes;
- Reducir progresivamente el uso de las centrales de carbón menos eficientes y prohibir su construcción;
- Incrementar las inversiones en tecnologías renovables en el sector eléctrico
- Eliminar progresivamente las restantes subvenciones a los combustibles fósiles.
- Reducir las emisiones de metano en la producción de gas y petróleo.

Dos de estas soluciones se centran en la mejora de la eficiencia energética del sector de los edificios que con sus 9 Gt de CO₂ equivalente (Internacional Energy Agency (IEA), 2017) [22], se ha visto que es el responsable del 30 % de las emisiones de CO₂ mundiales y en el fomento de las energías renovables.

En la Unión Europea, el sector de los edificios es responsable del 36% de todas las emisiones de CO₂, consumiendo casi el 50% de la energía total demanda, de la que el 80% es destinado a satisfacer la demanda de calefacción y refrigeración. (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2018). [23]

Es por ello, que uno de los principales esfuerzos de la Unión Europea es renovar su parque inmobiliario impulsando la eficiencia energética, aplicando el principio reducir el consumo lo máximo posible y después satisfacerlo con energías renovables, apostando por una clara descarbonización del sector.

La calefacción y la refrigeración procedentes de energías renovables son vitales para la descarbonización. Es necesario un cambio en el consumo de energía que favorezca a las fuentes de energía con baja emisión de carbono y producidas localmente (incluidas las bombas de calor y los calentadores de acumulación) y las energías renovables (por ejemplo, calefacción solar, geotérmica, de biogás, de biomasa), también a través de redes de calefacción urbana. (Commission to the European Parliament, 2017) [24]

Las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo que fundamentalmente potencian esta medidas son:

- Directiva 2009/28/UE de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2009) [25]
- Directiva 2010/31/UE de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2010) [26]
- Directiva 2012/27/UE de 25 octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2012) [27]
- Directiva 2018/844 de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2018) [23]

Además está la recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión, de 29 de julio de 2016, sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo (DO L 208 de 2.8.2016, p. 46). (La Comisión Europea, 2016) [28]

El objetivo fijado por la Unión Europea para el periodo 2021-2030, es obtener, al menos un 27 % de mejora de eficiencia energética respecto al 2007.

El ratio que refleja en gran manera, del grado de eficiencia energética de un país, es el llamado índice de intensidad energética, que se calcula como el cociente entre el consumo energético y el producto interior bruto, de manera que cuanto menor es la intensidad energética el país necesitará menos energía para producir más riqueza, por lo que cuanto menor es ese índice más competitivo resultará ser el país.

Entre 2010 y 2015, este ratio disminuyó un 2,1 %, lo que implica que aunque la economía mundial ha ido creciendo y la demanda energética ha seguido aumentando de manera constante, se está consumiendo de una forma más eficiente. (REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2017) [29]

En cuanto al objetivo fijado para el impulso de las Energías renovables es llegar al 27 % de energía generada a partir de energías renovables en el 2030, este cierra el marco de clima y energía fijado por la Unión Europea para el 2030, que como se ha señalado se centra en tres objetivos:

- Reducción del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con los niveles de 1990
- Al menos un 27% de cuota de energías renovables
- Al menos un 27% de mejora de la eficiencia energética, objetivo que será revisado en el 2020 para llegar al 30%.

En España, ha habido numerosas iniciativas para reducir el consumo energético, en el 2003, se aprobó la Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética (E4), con objeto de reducir los consumos energéticos en los principales sectores consumidores, pero no se concretaban las acciones específicas, los plazos, las responsabilidades, ni los mecanismos de financiación; todo lo cual, se tuvo que ir concretando en los diferentes Planes de acción aprobados por el Gobierno, los llamados PAE.

El PAE del periodo 2008-2012, centró sus objetivos acorde a los objetivos de la UE de lograr en el 2020, un ahorro del 20% en la demanda que resultaría en caso de no adoptar nuevas medidas de intensificación del ahorro y la eficiencia energética.

En el 2004, se produce en España un cambio en la tendencia de la evolución de la intensidad energética, lo que origina una aproximación de España a los niveles de la UE. La reducción experimentada en España, se debió, fundamentalmente al incremento del consumo de energías renovables y a la generación eléctrica de alta eficiencia con centrales de gas de ciclo combinado, así como a la cogeneración.

En el periodo 2004-2010, la intensidad energética primaria de España, bajó un 14,2 %, la crisis económica contribuyó significativamente a la reducción de la demanda energética en 2008 y 2009, pero el cambio de tendencia en la intensidad energética se inició en el 2004, tres años antes, como consecuencia de la introducción de las políticas de ahorro y eficiencia energética.

En la actualidad el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020 (PNAEE 2017-2020), con el que España da cumplimiento al artículo 24.2 de la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, (Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España, 2017) [30] se centra en una reducción del 24,7% del consumo de energía primaria en el 2020 respecto al consumo base de 2007, que se situó en 162,8 Mtep, por lo tanto el objetivo se centra en no superar la cifra de 122,6 Mtep en el 2020.

En cuanto a las Energías Renovables, el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, fija el objetivo para el año 2020 de que al menos el 20% del consumo de final bruto de energía proceda del aprovechamiento de las fuentes renovables. (Consejo de Ministros. Gobierno de España, 2011) [31]

El pasado marzo de 2019, el Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España, envió a la comisión Europea para su aprobación el borrador del Marco estratégico de Energía y Clima. Este Marco persigue la descarbonización, mediante las energías renovables, para ello el borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021 – 2030, (Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO). Gobierno de España, 2019) [32] establece los siguientes objetivos:

- 21% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 42% de renovables sobre el uso final de la energía.
- 39,6% de mejora de la eficiencia energética.
- 74% de energía renovable en la generación eléctrica.

En Castilla y León, la Estrategia de Eficiencia Energética 2016-2020 (Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). Junta de Castilla y León, 2016) [5], establece como objetivo la reducción de un 10% del consumo de energía primaria con respecto al año 2014, lo que implica una disminución del 32,45 % con respecto al año base de 2007.

En cuanto a las energías renovables, se propone elevar al 33,62% la contribución de las energías renovables al consumo final bruto de Castilla y León en el 2020, superándose con ambos objetivos los establecidos por la Unión Europea para ese periodo.

Con todo esto los objetivos para La Unión Europea, España y Castilla y León, quedan resumidos en laTabla 1.

Tabla 1. Objetivos energéticos y medioambientales en la Unión Europea y España

	UNIÓN EUROPEA	ESPAÑA	CASTILLA Y LEÓN
Gases de efecto invernadero (GEI)	En el año 2030, reducción del 40 % con respecto a 1990	En el 2030, aumento máximo de 112% respecto a 1990 (Actual PNAEE 2017-2020) En el 2030, 21% de reducción respecto a 1990. (PNIEC 2021 – 2030)	En el año 2020, reducción del 30% con respecto a 1990
Energías Renovables	Al menos una cuota del 27% en el 2030.	Al menos una cuota del 20% en el 2020 (Actual PNAEE 2017-2020). 42% de renovables sobre el uso final de la energía en el 2030. 74% de energía renovable en la generación eléctrica en el 2030 (PNIEC 2021 – 2030)	Al menos una cuota del 33,62% en el 2020
Eficiencia Energética	Al menos un 27% de mejora de la eficiencia energética en el 2030 respecto al 2007.	Reducción en el 2020 del consumo de energía primaria del 24,7% respecto el 2007. (Actual PNAEE 2017-2020). 39,6% de mejora de la eficiencia energética (PNIEC 2021 – 2030)	Reducción en el 2020 del consumo de energía primaria del 32,45% respecto el 2007

Tanto la utilización de energías renovables como el aumento de la eficiencia energética de los sistemas de climatización en los edificios son unas de las metas que se persiguen con las redes de calor, convirtiéndose así, en una de las principales herramientas que se emplean para conseguir los objetivos energéticos y medioambientales fijados por la Unión Europea.

1.2. Redes de calor

1.2.1. Presentación

Las redes de calor, son consideradas como una de las mejores soluciones a los problemas energéticos del sector edificatorio; por una parte por la posibilidad de ahorrar energía en el consumo de calefacción respecto a los sistemas individuales y por otra, por la posibilidad de mejorar la descarbonización de las ciudades al fomentar la sustitución de combustibles fósiles por biomasa y otras energías renovables o calores residuales, con lo que se logran paliar los problemas medioambientales de los grandes núcleos urbanos.

Es por ello, que la tecnología de la redes de climatización, “District Heating” o “calefacción de distrito”, convierte a las ciudades en actores clave para lograr la descarbonización, de hecho numerosas administraciones confían en ella, en su camino hacia una reducción efectiva de los Gases de Efecto Invernadero.

Uno de los principales objetivos de las redes de calor, es la utilización de una energía térmica residual, procedente de procesos industriales, fuentes naturales geotérmicas, valorización de residuos sólidos urbanos o el aprovechamiento de las fuentes renovables como la biomasa o la energía solar.

Como su nombre indica, las redes de distrito para la distribución de calor y/o frío son un entramado de tuberías aisladas mediante el cual se distribuye energía térmica desde una central de generación hasta un conjunto de consumidores. Siendo sus elementos principales:

- La central térmica
- La red de distribución
- Sistema de bombeo o de impulsión del fluido térmico.
- Las subestaciones de conexión con los consumidores finales.

La Figura 5, muestra un esquema sencillo de una red de calor o district heating.

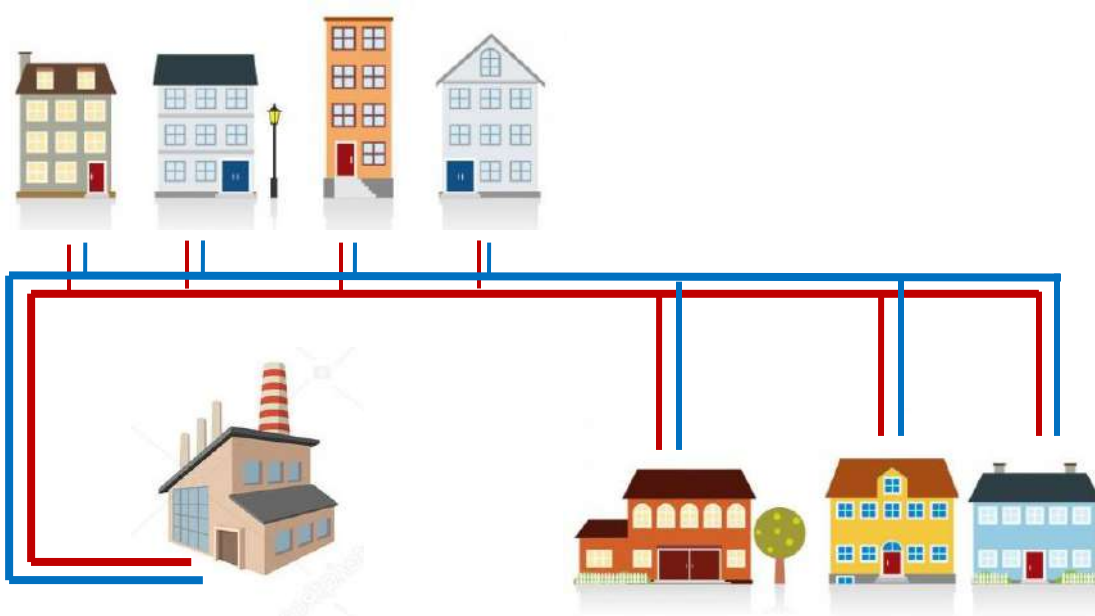


Figura 5. Esquema de una red de calor

La empresa AIGUASOL Sistemes Avancats d'Energia Solar Tèrmica S.C.C.L., elaboró por encargo del Institut Català d'Energia de la Generalitat de Catalunya, en 2011, una guía de redes de calor y frío (Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. ADHAC, 2011) [33] y en el 2012, la empresa COFELY (GDF SUEZ) elaboró otra guía integral de desarrollo de proyectos de redes de distrito de calor y frío, también por encargo del Institut Català d'Energia de la Generalitat de Catalunya, (Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. ADHAC, 2012) [34]; ambas guías recogen los principios fundamentales a tener en cuenta en el diseño y ejecución de las redes de calor.

1.2.2. Elementos principales

Central Térmica

La central térmica se diseña para que el sistema de generación, distribución, regulación y control pueda ajustarse a la curva de demanda total de calefacción, refrigeración y de agua caliente sanitaria para la que ha sido planificada.

Para generar energía térmica en forma de calor, se utilizan calderas, que son sustituidas por motores o turbinas en el caso de la cogeneración. La generación se puede combinar con energías renovables, en este caso la central térmica también incluirá los componentes del sistema de energías renovables (biomasa, solar térmica, solar fotovoltaica o geotermia), como depósitos de acumulación, paneles, bombas de calor, etc.

Para generar energía térmica en forma de frío, generalmente se elige un sistema de refrigeración por compresión que se alimenta mediante energía eléctrica. Existe la posibilidad de utilizar en paralelo sistemas de absorción o adsorción alimentados por fuentes de calor, estos sistemas se suelen emplear cuando en la generación de calor se utilizan energías renovables, residuos o cogeneraciones.

En función de la energía primaria utilizada en la central térmica, la red puede estar basada en:

- **La utilización de combustibles fósiles para cogeneración**, uno de los más utilizados es el gas natural, es el tipo de fuente de calor más común en las redes de distrito de todo el mundo (46% del total del calor generado en redes de distrito). (Riga, Varsovia, Praga, Copenhague, Mannheim, Cerdanyola).
- **La utilización de residuos** es la segunda fuente más utilizada después de la cogeneración con combustibles fósiles. (Barcelona, Uppsala (Suecia), Sheffield (RU), Praga y Brno (República Checa), París, Múnich, Copenhague y Budapest).
- **Utilización de calores residuales** de procesos productivos que puede aprovecharse para producir calefacción, refrigeración o agua caliente sanitaria. (Papelera: Varberg en Suecia, metalurgia: Vänernsberg en Suecia, refinería de petróleo: Göteborg en Suecia; Pzock en Polonia, Química: Puzawy en Polonia)
- **Empleo de energías renovables locales:**
 - Geotermia: Ferrara, Pomarance y Monterotondo (Italia), Southampton (Reino Unido), Reikiavik (Islandia), Lund (Suecia).
 - Solar: Marstal (Dinamarca), Neckarsulm (Alemania)
 - Biomasa: Sant Pere de Torelló (Cataluña), Molins de Rei (Cataluña), Cuéllar (Segovia), Universidad de Valladolid (Valladolid)
 - Biogás: Tub verd de Mataró (Cataluña)

Además del aprovechamiento de recursos renovables como fuente de energía primaria, se pueden aprovechar los ríos o incluso el mar, para la refrigeración de las máquinas enfriadoras, la temperatura inferior de los ríos y mares logra mejorar el rendimiento medio anual de producción de frío, sin consumo neto de agua, dado que el agua se devuelve al medio de origen. (Barcelona y Helsinki, con agua de mar; en Zaragoza, con agua de río; en Mataró, con agua freática o en Toronto, con agua de lago)

Sistema de Distribución. Tuberías, Aislamiento

Este sistema está compuesto con el entramado de tuberías con aislamiento y el resto de accesorios necesarios como codos, bridas o empalmes.

Las primeras redes de calor se encontraron el problema de la corrosión de las tuberías de acero, de ahí surgen las tuberías plásticas pre-asiladas flexibles, este producto fue llamado Flexalen, y nació en 1982. En el año 2000 se desarrolló de un nuevo sistema más económico y resistente, el Flexalen 600, con una pérdida de calor menor a 1°C por kilómetro.

En las redes de calor, cuyo fluido caloportador supera los 90 °C, se utilizan las tuberías de acero preaislado con espuma de poliuretano; pero si la red es de temperaturas bajas (70°C), lo más habitual son las tuberías de polietileno reticulado preaislado (PEXa, que presentan una reticulación superior al 70%). La Figura 6, muestra una tubería preaislada PEXa.



Figura 6. Tubería preaislada PEX (UPONOR) [50]

Las tuberías PEX, son tuberías plásticas flexibles de diámetros entre 20 y 160 mm, con tubo envolvente (PE) de polietileno de alta densidad o baja densidad y aislamiento de polietileno reticulado (PEXa) o espuma de poliuretano (PUR)

También existen tuberías flexibles de cobre y recubrimiento de polietileno o de acero inoxidable con espuma de poliuretano. Las tuberías rígidas pueden ser de acero con aislamiento de espuma de poliuretano inyectado y con diámetro de 20 a 1000 mm o incluso tuberías de hormigón.

La Tabla 2 muestra las particularidades de las tuberías de acero y de plástico, más utilizadas en las redes térmicas. (Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. ADHAC, 2012) [34]

Tabla 2. Características de las tuberías según su material

<i>Material tubería</i>	<i>ACERO</i>	<i>PLÁSTICO</i>
<i>Formato de suministro</i>	Tuberías de hasta 12 m	Bobinas de tubería
<i>Servicio</i>	Calor / frío	Calor / frío
<i>Temperatura máxima</i>	148 °C (aislamiento)	90°C (tubería)
<i>Presión máxima de servicio</i>	16 bar	6 bar
<i>Diámetros comerciales</i>	≥ DN 800	≤ DN 200

El fluido caloportador más habitual en la actualidad es el agua caliente, aunque también se puede utilizar agua sobrecalentada o vapor.

Este fluido es conducido por el circuito de ida hasta los usuarios donde cede el calor o el frío y es reconducido otra vez a la central térmica por el circuito de retorno, es decir se trata de un circuito primario cerrado que cede el calor a los circuitos secundarios existentes en cada subestación, esta cesión se suele producir en un intercambiador ubicado en las subestaciones de conexión. El entramado de tuberías discurre por zanjas a través de las calles del municipio.

La red de tuberías puede dividirse en tres grupos, tal como se aprecia en la Figura 7:

- Red troncal: conduce el calor (o el frío) desde la central de generación hasta las redes locales de distribución.
- Ramales: conducen el calor (o el frío) desde la red troncal hasta las tuberías de servicio. Las tuberías principales suelen seguir la dirección de las calles o carreteras.
- Acometidas o ramales de servicio a clientes: son las tuberías de interconexión desde los ramales hasta cada edificio o subestación.

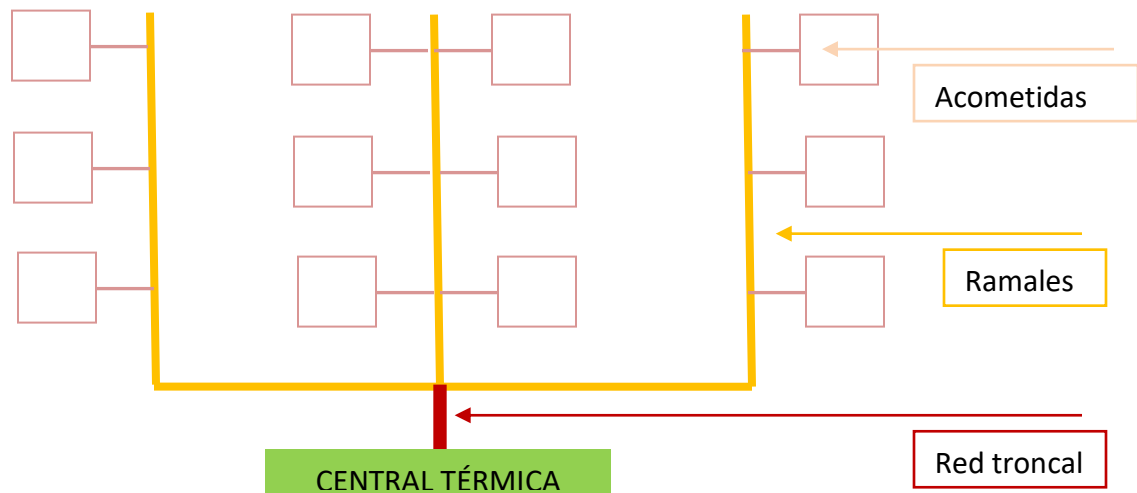


Figura 7. Tipos de tuberías de una red térmica

Sistema de bombeo

El sistema de regulación de caudal que acompaña al sistema de bombeo puede ser desde simples válvulas de estrangulamiento, bypass o bombas de velocidad variable, en este último caso los sistemas trabajan a temperatura de impulsión fija y se regulan al variar el caudal en función de la temperatura de retorno de la red.

Los sistemas de bombeo pueden diseñarse de diversas formas:

- **Bombeo centralizado.** Un grupo de bombeo principal impulsa el fluido por toda la red, habitualmente el sistema está ubicado en la propia central térmica.
- **Bombeo primario-secundario estándar.** Existen unas bombas primarias que impulsan el fluido por la central térmica y las secundarias por los ramales de distribución.
- **Bombeo primario-secundario-terciario estándar.** Al sistema anterior se le añaden las bombas de cada circuito de distribución en las acometidas.
- **Bombeo distribuido.** Con esta configuración, cada equipo generador y cada edificio consumidor dispone de su grupo de bombeo, con ello se evitan interacciones entre las presiones de los diferentes grupos.

Subestaciones

Cuando el fluido llega al edificio cede su calor o frío en una subestación compuesta por un intercambiador y elementos de medición, regulación y control y en ocasiones por sistemas de almacenaje o depósitos de acumulación.

Las acometidas son las tuberías de conexión entre la red y la subestación del cliente, normalmente llegan al edificio del cliente por debajo del nivel de la calle. En las subestaciones se ajustan la presión y la temperatura de la red de distribución a las condiciones demandadas y se garantizan los saltos de temperatura necesarios.

Existen principalmente dos tipos de subestaciones:

- **las de conexión directa**, sin diferencia entre el circuito de red y el del usuario
- **y las subestaciones de conexión indirecta**, donde existe un intercambiador de calor que separa la red de la instalación interior.

El sistema de agua caliente sanitaria (ACS) del usuario siempre será un circuito independiente de la red.

1.2.3. Ventajas y Limitaciones

Las redes de calor y frío presentan las siguientes ventajas:

- Pueden ser consideradas como el método más barato de reducir el uso del carbón, además tiene una de las huellas de carbono más bajas de todas las plantas de generación basadas en combustibles fósiles
- Posibilitan nuevos negocios con viabilidad a largo plazo, sobretodo para las empresas de servicios energéticos (ESE), dado que pueden convertirse en suministradores de la energía contenida en el agua o vapor que transportan las redes.
- Activan la economía industrial al requerir el suministro de los equipos de los proveedores de calderas, tuberías depósitos, bombas,
- Ahorran espacio útil dedicado a la sala de instalaciones en los edificios y viviendas
- Mejoran la estética de las ciudades, al desaparecer las chimeneas y las torres de refrigeración, mejorando el paisaje urbano.
- Reducen vibraciones y ruidos en las viviendas.
- Contribuyen al fomento de proyectos que mejoran la calidad del municipio donde están ubicados, al reducir el impacto medioambiental y el consumo energético.
- Suponen una ayuda para el cumplimiento de los objetivos marcados en las políticas energéticas y medioambientales europeas, nacionales y regionales a cumplir por las Administraciones.
- Posibilitan el uso de energías renovables y otros residuos locales

En general la centralización de las instalaciones térmicas permite una mejora en el rendimiento de generación que compensa las pérdidas de distribución del sistema, por lo que en su conjunto se consideran sistemas más eficientes.

Si además de centralizar la generación con un district heating, se añaden las ventajas de la cogeneración, y del uso de energías renovables o residuales, la eficiencia energética es innegable, lo que hace de las redes de calor una de las mejores alternativas para mejorar el comportamiento medioambiental de las ciudades, como ha sido demostrado en numerosos programas europeos. (United Nations Environment Programme (UNEP), 2015) [35]

Por lo tanto, parece lógico asumir que una red de calor que genera el calor a gran escala, será más económica y eficiente que la suma de multitud de instalaciones de generación individuales. (Van Deventer, Derhamy, Atta, & Delsing, 2017) [36].

Esto ha sido demostrado en numerosos lugares como: Seúl (Lee, Kim, & Im, 2017) [37], Suiza (Ericsson & Werner, 2016) [38], Suecia (Sandvall, Ahlgren, & Ekvall, 2017) [39], Lucerna en Italia, (Delmastro, Mutani, & Schranz, 2015) [40], Reino Unido (Bush, Bale, & Taylor, 2016)[41], Singapur (Wouters, 2015) [42], California (Hanna, Ghonima, Kleissl, Tynan, & Victor, 2017) [43], Polonia (Wojdyga & Chorzelski, 2017) [44] o Dinamarca (Lund, Möller, Mathiesen, & Dyrelund, 2010) [45]

Limitaciones

Sin embargo, el rendimiento energético de las redes de calor dependen de muchos factores que pueden minorar la eficiencia con la que habían sido planificadas: la regulación (Kolokotsa, 2016) [46], las pérdidas de calor en la distribución (Laakkonen, y otros, 2017) [47] o las fugas de agua. Unido a estos inconvenientes, es habitual que estos sistemas deban competir con tecnologías predominantes como las redes de gas natural; siendo este el caso de Reino Unido (Bush & Bale, The role of intermediaries in the transition to district heating, 2017) [48] y Letonia (Ziemele, Gravelins, Blumberga, & Blumberga, 2016) [49].

Además del estudio de la eficiencia energética real de las redes, existen otros aspectos que son necesarios tener en cuenta para valorar la viabilidad y conveniencia de una red de calor, como:

- La obra civil necesaria en el espacio público, que podrá afectar a servicios generales de electricidad, gas, agua, telecomunicaciones, transporte público y calles cortadas.
- Potenciales averías por rotura en la ejecución de la obra civil.
- Necesidad de un correcto dimensionamiento, dado que sobredimensionar es caro en instalación y funcionamiento, mientras que subdimensionar es limitar el crecimiento del sistema.
- Previsión de la necesidad de realizar intervenciones dentro de viviendas y aprobación previa de las mismas por parte de los propietarios.
- Previsión de paradas técnicas de la Central y previsión de sistemas de generación en paralelo que puedan dar servicio a las demandas térmicas en dichas paradas, lo que obliga, en ocasiones, a no poder prescindir del mantenimiento de los sistemas iniciales.
- Para que el sistema logre ser eficiente será necesario diseñar el sistema de tal forma que las pérdidas de distribución sean admisibles y las mínimas posibles.
- El sistema de regulación deberá poder satisfacer las demandas con el máximo rendimiento, por lo que será imprescindible dotarle de un buen sistema de regulación, medida y control.

- Necesidad de conocer las demandas iniciales reales, la previsión de su evolución y cambio a largo plazo, dado que los proyectos de redes de calor se conciben a rentabilidades de largo plazo.

Todo ello hace que las redes de calor deban ser cuidadosamente planificadas, diseñadas, ejecutadas, mantenidas, reguladas y optimizadas para que realmente logren alcanzar los objetivos con los que habían sido diseñadas.

1.2.4. Evolución de las redes

Aunque la aparición de las conducciones de fluidos térmicos por las calles, se podría fechar en tiempos de los romanos cuando el agua caliente circulaba por canales abiertos para suministrar calefacción a los edificios y a los baños, es en el siglo XIV en Francia, cuando se habla por primera vez de redes de calor (Lake, Rezaie, & Beyerlein, 2017) [51], el agua caliente era distribuida por conductos de madera.

El año 1877, Birdsill Holly estableció el primer sistema comercial de DH (district heating) en Estados Unidos (Nueva York). Como central térmica utilizó una caldera en el sótano de su casa y construyó un anillo con tuberías de vapor, radiadores y líneas de retorno de condensados. Al principio, el sistema tenía 14 clientes y hacia el año 1880 suministraba a varias fábricas y a algunas viviendas nuevas; el sistema de tuberías se extendió hasta alcanzar aproximadamente 5 km de longitud. (Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. ADHAC, 2012) [34]

A esta experiencia le siguió Alemania en 1893, en Hamburgo, con un sistema de calefacción que aprovechaba el calor residual de una central eléctrica y en el siglo XX muchas ciudades de Estados Unidos y Escandinavia ya contaban con redes de distrito que utilizaban el vapor como fluido caloportador.

En 1891, se ejecutó el primer District Heating en Dinamarca, a las afueras de Copenhague, que suministraba calor a un hospital y varios edificios públicos. En 1930, se construye la primera red en París que hoy en día todavía funciona.

A partir de la Segunda Guerra Mundial, en Estados Unidos se empezaron a construir grandes centrales térmicas a las afueras de las ciudades, pero no fueron rentables debido a los bajos precios de la electricidad, el petróleo y el gas natural. En Europa, donde la electricidad y el gas natural tenían precios más elevados, la rentabilidad de las redes urbanas combinadas con la cogeneración hizo que prosperaran con mayor facilidad, sobre todo en Escandinavia (en 1953, se construye la red de Estocolmo (Suecia)).

A raíz de las crisis petrolíferas de los años 70, países como Suecia y Dinamarca cuya dependencia del petróleo rondaba el 90%, buscaron nuevos combustibles para las centrales térmicas de los district heating, utilizando calores procedentes de la incineración de residuos en combinación con energías renovables, incluso se ha llegado a utilizar el calor sobrante de centrales nucleares o de la incineración de cadáveres como en una ciudad Sueca de Racksta.

En Japón las primeras redes nacieron también en la década de los 70, y veinte años después ya tenían más de 120 redes de calor funcionando, de las que un 60% son de calor y el resto de frío.

En China, las primeras redes comienzan en los 80 y en la actualidad más del 50% de las grandes urbes cuentan con sistemas de redes de calor.

Desde sus comienzos hasta ahora, se habla de cuatro generaciones de redes de calor (Werner, District heating and cooling in Sweden., 2017) [52]:

- La primera generación (1880-1930) caracterizada por la utilización de vapor como fluido térmico.
- La segunda (1930-1980) en la que el vapor es sustituido por agua a alta temperatura conducida a través de tuberías de hormigón.
- La tercera (1980-2020) que se basa en temperaturas medias del agua en tuberías prefabricadas directamente enterradas en el suelo.
- La cuarta que será la de futura generación, (2020-2050), se centrará en una distribución a bajas temperaturas (Schmidt, y otros, 2017) [53], esto es: suministro inferior a 50°C y retorno cercano a los 20°C (Averfalk & Werner, 2017) [54] o entre 70°C y 30°C (Rämä & Sipila, 2017) [55], utilizará calores residuales (Wahlroos, Pärssinen, Manner, & Syri, 2017) [56], residuos sólidos urbanos (Persson & Münster, 2016) [57], energías renovables (Nord, Schmidt, & Dagmar, 2017) [58], podrán ser combinadas con plantas de cogeneración (Castro Flores, Lacarriere, Chiu, & Martín, 2017) [59] y ser integradas en redes de energía inteligentes (Lund, y otros, 2014) [60].

Este último sistema de cuarta generación será el óptimo para los edificios de nueva construcción ejecutados con las directrices de los edificios de energía casi cero (nearly zero energy buildings (nZEB) (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2010) [26] y de altos estándares de eficiencia energética (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2012) [27].

1.2.5. Contexto normativo

Casi el 50% de los edificios de la Unión Europea tienen calderas individuales instaladas antes de 1992 cuyo rendimiento estacional de un 60% o inferior. De los sistemas de calefacción, el 22% son calderas de gas, el 34% son aparatos eléctricos directos, el 47% son calderas de gasóleo y el 58% son calderas de carbón que han llegado ya al final de su ciclo de vida. (Comisión Europea, 2016) [61]

El 18% del suministro de energía primaria para climatización tuvo su origen en las energías renovables y el 75% en combustibles fósiles. La biomasa es la fuente de energía renovable más utilizada para calefacción, representando alrededor del 90%. (Comisión Europea, 2016) [61]

Teniendo en cuenta la importancia de fomentar las energías renovables en la edificación, en el año 2009, se aprueba la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, que promueve estas instalaciones y donde se considera que es necesario establecer mecanismos para fomentar sistemas de calefacción y refrigeración urbana a partir de energía procedente de fuentes renovables por parte de los estados miembros. (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2009) [25]

En el 2010, la Directiva 2010/31/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, define “sistema urbano de calefacción” y “sistema urbano de refrigeración” como una distribución de energía térmica en forma de vapor, agua caliente o fluidos refrigerantes, desde una fuente central de producción a través de una red, hacia múltiples edificios o emplazamientos, para la calefacción o la refrigeración de espacios o procesos. (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2010) [26]

En el artículo 6, de la citada Directiva, se establece que los Estados miembros tomarán medidas para garantizar que los edificios nuevos cumplan los requisitos mínimos de eficiencia energética y velarán porque, antes de que se inicie la construcción, se consideren y tengan en cuenta la viabilidad técnica, medioambiental y económica de instalaciones alternativas de alta eficiencia como la calefacción o refrigeración urbana o central, en particular si se basa total o parcialmente en energía procedente de fuentes renovables.

Finalmente en el Anexo I, de esta Directiva hace una valoración “Positiva” de los Sistemas Urbanos de Calefacción en las Certificaciones.

Dos años después, con la Directiva 2012/27/CE, se invita a los estados miembros a evaluar el potencial de las redes de climatización urbanas y a adoptar planes nacionales que constituyan los planes de calefacción y refrigeración regionales y locales (Artículo 14, Anexo VIII) (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2012) [27]

En el mismo artículo, se anima a realizar análisis de costes y beneficios en determinadas nuevas instalaciones térmicas o renovación, realizadas tras el 5 de junio de 2014.

En el Anexo IX, se recoge cómo llevar a cabo el análisis de costes y beneficios, dicho análisis afectará a instalaciones térmicas de generación nuevas o renovadas, así como instalaciones industriales y Redes Urbanas, con potencia térmica superior a 20 MW, según Anexo IX (parte 2)

En dicha Directiva, se afirma que las redes urbanas de calor y frío proporcionan una respuesta inteligente al reto planteado de reducción de emisiones, incremento de la eficiencia y ahorro energético para 2020, explica, también que los sistemas urbanos de climatización tienen un potencial significativo de ahorro de energía primaria que, en general, está poco explotado en la Unión.

En el Artículo 2.41. se define un sistema Urbano Eficiente de Calefacción y Refrigeración, como todo sistema urbano de calefacción o refrigeración que utilice al menos un 50% de energía renovable, un 50% de calor residual, un 75% de calor cogenerado o un 50% de una combinación de estos tipos de energía y calor.

En España, a raíz de los Reales Decretos 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de los edificios de nueva construcción y el Real Decreto 235/2013, para la Certificación Energética de edificios existentes, se elabora un procedimiento específico para Redes: POSTCALENER. (Desarrollado por ADHAC. (Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío), que se convierte en documento Reconocido y demuestra que la conexión a Redes supone una mejora automática en la certificación energética de edificios.

A partir del 2013, se abre un nuevo marco normativo para la rehabilitación, regeneración y renovación urbana, con la Ley 8/2013, el Real Decreto 233/2013 del Plan estatal de fomento del alquiler, rehabilitación edificatoria, regeneración y renovación urbana 2013-2016 y el Plan R3E de Rehabilitación Energética Edificios Existentes.

El 30 de abril de 2014 el Ministerio de Industria, Energía y Turismo lanza el PNAEE 2014 - 2020 (Plan Nacional Activación Eficiencia Energética) en el que se analiza, entre otros temas:

- Situación actual de las redes de Calor y Frío en España.
- Evaluación del potencial de las redes de Calor y Frío.
- Promoción eficiencia en producción y uso de Calor y Frío.
- Análisis coste – beneficio redes de Calor y Frío

Finalmente, el 13 de febrero de 2016, se publicó en el BOE, el Real Decreto 56/2016, por el que se transpone parcialmente la Directiva 2012/17/UE, en lo relativo a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios energéticos y auditores y promoción de la cogeneración de alta eficiencia. Este Real Decreto entró en vigor el 14 de febrero de 2016.

El Capítulo IV, está dedicado a la producción y uso de calor y frío y es donde se mencionan los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración. Se establece un registro quinquenal que España debe aportar a la UE (Disposición adicional 2ª) junto a la evaluación de la rentabilidad global de esos proyectos (Anexo III y IV), lo que da cumplimiento al artículo 14 de la Directiva y se abre la posibilidad de implantación de redes de calor en los municipios donde sean viables.

Todo esto enmarca a las redes de calor en España como una herramienta apoyada y fomentada por el Gobierno de la Nación, por una parte para la mejora de sus políticas energéticas y medioambientales y por otra para cumplir con los requerimientos que la Unión Europea hace a todos los países miembros.

Barreras legales y técnicas

En España, aunque como se ha mencionado existe un procedimiento o herramienta específica (Postcalener) para evaluar el uso de redes de calor a la hora de la certificación energética de un edificio, el Código Técnico de la Edificación, sigue obligando a los edificios de nueva construcción a cubrir parte de la demanda de agua caliente mediante energía solar térmica u otros sistemas igual de eficientes, con independencia de que el edificio esté incluido en una red de calor.

Sería lógico suponer que los edificios abastecidos por una red de calor deberían estar exentos de la obligatoriedad de instalar captadores solares, pero si la red, no incluye ni cogeneración ni el uso de un calor residual, el edificio se vería obligado a cubrir parte de la demanda de agua caliente mediante energía solar, por lo tanto, existe un vacío legal para estas situaciones.

También existe otro vacío en la Ley sobre derechos de emisiones (Ley 1/2005). La potencia de generación de la central térmica de una red suele ser inferior a la suma de las potencias de las instalaciones individuales a la que abastece; no obstante, como es un único punto con una potencia elevada, si supera el límite que marca esta ley, 20 MW, deberá emprender el comercio de los derechos de emisión de gases de efecto invernadero, mientras que las instalaciones individuales (aunque más emisoras de CO₂ en conjunto) nunca se verían afectadas.

Otro de los puntos críticos es la obtención de licencias y permisos municipales como la licencia de actividad o la licencia de obras. Son procesos administrativos largos, que dificultan la planificación de los trabajos y el acopio de materiales, puesto que el comienzo de los trabajos está condicionado al hecho de obtenerlos. Si la red utiliza sistemas de cogeneración, todavía los procedimientos administrativos de legalización, se hacen más tediosos al implicar el consentimiento de las compañías distribuidoras, la concesión de puntos de acceso y conexión a la red, ...

Una de las soluciones planteadas por ADHAC. (Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío) es la inclusión de las redes de distrito en la normativa de instalaciones térmicas, en los planes urbanísticos municipales y en los planes energéticos, de tal manera que las zonas de nueva urbanización pudieran incluir este tipo de sistemas de calor y frío, como una opción altamente eficiente, razón por la cual podrían, además, concederse incentivos fiscales.

Estas medidas también ayudarían a dar a conocer estos sistemas, fomentando una mayor sensibilización y evitando los recelos que existen entre la población que se resiste a cambiar su sistema propio individual para depender de uno central colectivo.

Añadidos a estas limitaciones legales y normativas, a la hora de dimensionar y diseñar el proyecto de una red de distrito, es necesario tener en cuenta los siguientes condicionantes técnicos que en ocasiones son limitativos:

- La previsión de nuevas urbanizaciones
- La previsión de concentración o dispersión de los barrios.
- La densidad de la demanda de calor y frío, cuyo valor resultará ser un factor determinante para la viabilidad de una red de distrito
 - La viabilidad disminuye al bajar la densidad de edificación y la demanda energética, por lo que la inversión específica por unidad de superficie por climatizar ($\text{€}/\text{m}^2$) aumenta a medida que disminuye la densidad de la demanda.
- Grado de incertidumbre para estimar un ratio de densidad mínima para que un proyecto de red sea viable.
- Fiabilidad en la estimación o medida de las demandas mínimas de calor y frío que hacen viable el proyecto.
- Definición del modelo de negocio de la red, estimando los costes de operación, mantenimiento, gestión técnica, administrativa con facturación a clientes, incluida, etc.)
- Previsión de la existencia de sistemas duplicados de forma individual para satisfacer las demandas de frío y calor que satisface la red de distrito y medición del consumo de estos sistemas para descontarlo de los consumos asociados a la red.

1.2.6. Situación actual y perspectivas de futuro

En el 2012, había más de 5.000 redes de calor en Europa, que cubrían el 10 % de la demanda de calor de la Unión Europea, pero con una gran desigualdad entre los países miembros, desde los que prácticamente no poseen ninguna red a los que mediante redes satisfacían el 70% de su demanda térmica, como es el caso de los países nórdicos o incluso el 90% de la demanda como en Copenhague o Helsinki. (DHC Technology Platform, 2012) [63]

En Dinamarca, más del 60% de la producción de calor y agua caliente se basa en este sistema, y está basada en un 80% en instalaciones de cogeneración, y el 20% restante de la quema de residuos urbanos.

En Suecia el 90% de la energía que se utiliza en las redes de calor, es renovable o proviene de los residuos sólidos urbanos, además en un caso llegan a aprovechar del calor residual de la energía nuclear de la central de Agesta.

En Finlandia y en Rusia, el 50% del calor que se utiliza en las redes proviene de cogeneraciones y el resto de la incineración de residuos sólidos y energías renovables, en su mayor parte biomasa.

En el hemisferio Norte y fuera del continente europeo, la calefacción de distrito también es utilizada en países como Estados Unidos y Canadá, estando en Nueva York, como se ha comentado, una de las mayores redes a nivel mundial, una red de vapor que se construyó en 1882 y que, en la actualidad cuenta con 1.650 clientes y 169 km de tuberías. (Lissardy, 2017) [62]

En cuanto a la refrigeración, se satisface el 2% de toda la demanda de la Unión Europea.

En Europa el 73% de la población vive en ciudades y se estima que ese ratio crezca hasta el 80% en el 2030, es por ello que el 69% de la demanda de energía primaria se concentra en esas áreas urbanas donde las redes de calor son especialmente beneficiosas. (DHC Technology Platform, 2012) [63]

El 82 % de las redes de calor de la Unión Europea utilizan calores residuales y energías renovables, lo que ayuda a reducir la demanda de energía primaria y evitar emisiones de CO₂.

En España la primera red de calor se construyó en 1932, en la ciudad universitaria de Madrid. (Cano Herrador, Valbuena García, Muñoz Martín, Rey Martínez, & Navas Gracia, 2014) [64] y a finales del 2018, según el último censo publicado por la Asociación de empresas de redes de calor y frío: ADHAC, había 402 redes en España, con más de 680 km y más de 5.000 edificios conectados. La evolución del crecimiento del número de redes en España, puede apreciarse en la Figura 8. (Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío ADHAC, 2018). [65]

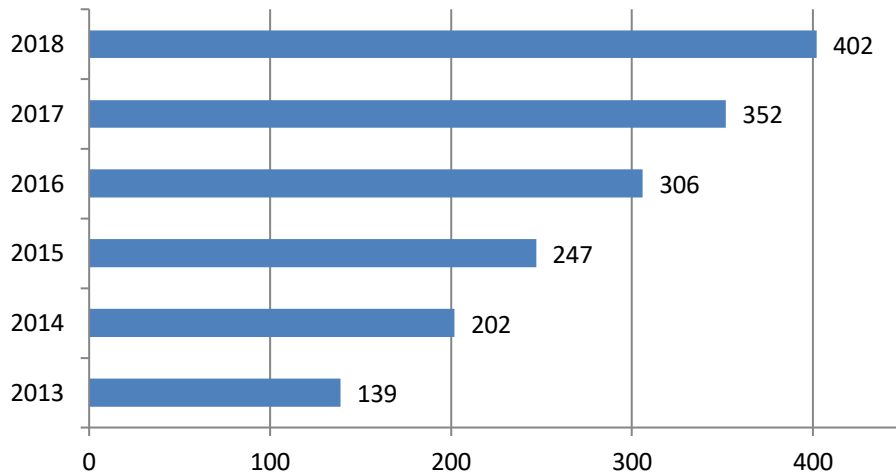


Figura 8. Evolución del número de redes de calor y frío en España (2013-2018)

Los clientes de las redes de calor españolas pertenecen mayoritariamente al sector terciario (68%), seguido del sector residencial (24%) y del industrial (8%). El 49% de las redes son de titularidad pública, otro 47% de titularidad privada y un 4% de titularidad mixta. El 72% de las redes emplean energías renovables, (69% de las redes utilizan como fuente de energía primaria la biomasa), el 14 % el gas natural y el 17% restante otras combinaciones de energía (gas-oíl, electricidad, calores residuales)

De las 402 redes, 130 (un 32%) se ubican en Cataluña, 59 (un 15%) en Castilla y León, 38 (un 9%) en Navarra, 36 (un 9%) en el País Vasco, 35 (un 9%) en Madrid y las otras 104 en el resto de comunidades, tal como aparece en la Figura 9 y Figura 10. De todas de redes, 362 (un 90%) son redes únicamente de calor, 35 (un 9%) son redes de calor y frío y 5 (un 1%) son redes sólo de frío.

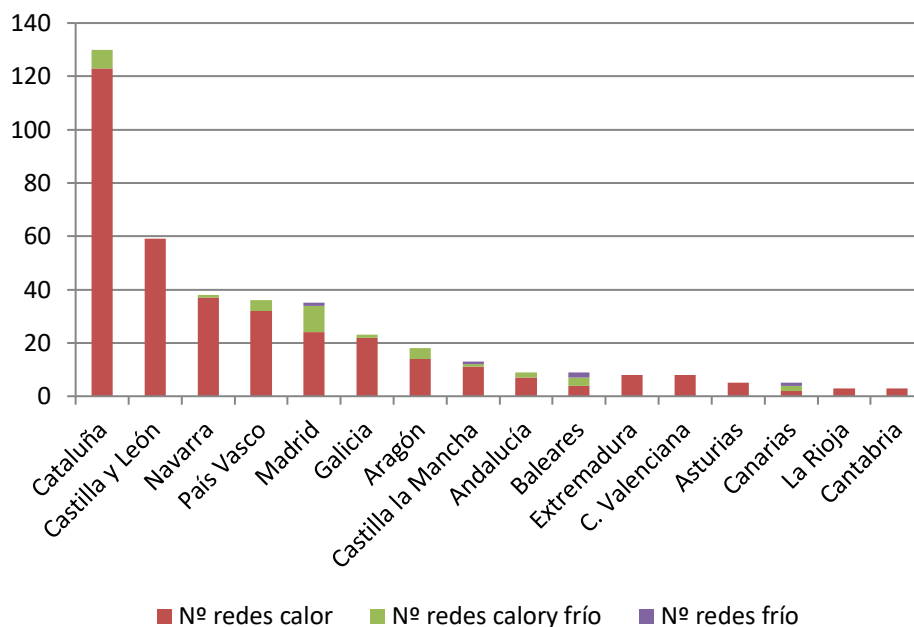


Figura 9. Distribución del número de redes en España por Comunidades. 2018

La potencia total instalada en esas 402 redes es de 1.448 MW, de los cuales 1.057 MW (un 73%) son de calor y 391 MW (un 27%) de frío. El 70% de la potencia instalada se concentra en Cataluña con 495 MW (un 34% de la potencia total), Madrid con 342 MW (un 24%) y Navarra con 176 MW (un 12%), la distribución por Comunidades Autónomas se puede apreciar en la Figura 10 y Figura 11.

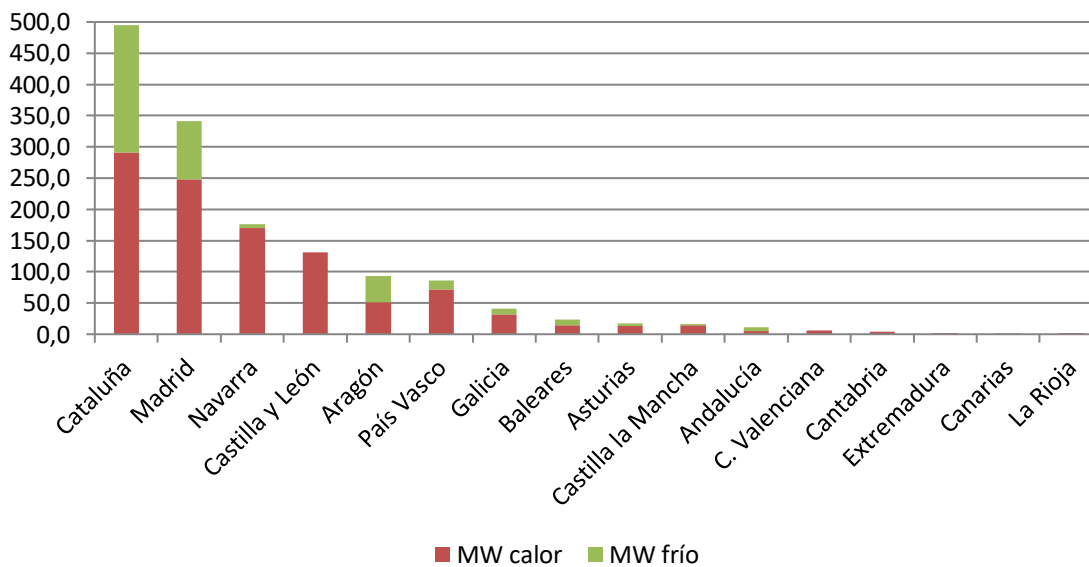


Figura 10. Distribución de la potencia instalada en redes en España por Comunidades. 2018

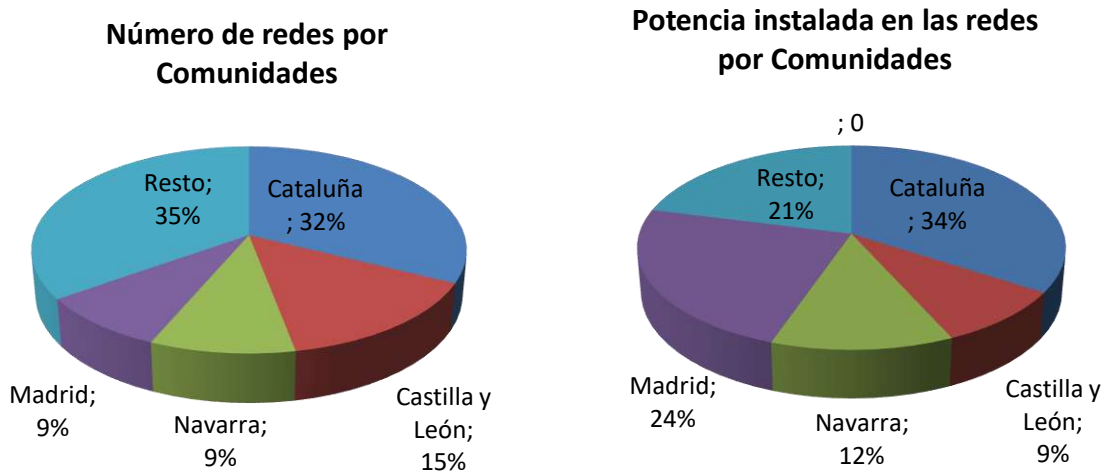


Figura 11. Distribución porcentual del número de redes y potencia por Comunidades. 2018

Perspectivas de futuro

La evolución natural de las redes de calor y frío es la conversión paulatina en redes de 4ª generación, lo que implica el abandono de las fuentes de combustibles fósiles para el uso de calores residuales, energías renovables y residuos sólidos urbanos, e incluso en combinación con la trigeneración (calor, frío y electricidad) esto llevaría a un aumento considerable en su eficiencia energética.

Se espera que las redes de calor doblen su cuota de mercado en el 2020, mientras que las de frío logren pasar del 2% al 25%. En este sentido los países Escandinavos, y los Emiratos (UAE) serán los líderes, de ahí el ejemplo de la red de Dubái. Los Hoteles para turismo en las áreas tropicales y sub-tropicales ya se están equipando con sistemas centrales de distribución de agua helada que alimentan las unidades de aire acondicionado. En el 2030, se hablará de redes de calor y frío inteligentes que llegarán a la optimización casi perfecta en la interacción entre generación, distribución y demanda. (DHC Technology Platform, 2012) [63].

Se hablará de redes de calor o frío como uno de los sistemas energéticos más avanzados de las ciudades, llamándolas: red inteligente, micro red, planta de energía virtual, sistema multienergético (Howell, Rezgui, Hippolyte, Jayan, & Li, 2017) [66], 'smart grid', 'microgrid', 'virtual power plant' and 'multi-energy system'.

Para llegar ahí, será necesario integrar multitud de sensores y monitorizar todos los parámetros para su gestión, lo que se ha dado en llamar el BEMS (Building Energy Management Systems) (Ahmad, Mourshed, Mundow, Sisinni, & Rezgui, 2016) [67]

Será, entonces, cuando se conjugará con exactitud la interrelación entre la generación y los prosumidores (prosumers) (consumidores y productores) y la perfecta armonía entre la producción, el consumo y el almacenamiento de energía en las ciudades, considerando cada elemento como un holón, lo que desembocará en la gestión de la energía holística (Holistic energy management) (Ferreira, Ferreira, Cardin, & Leitao, 2015) [68], (Reynolds, Rezgui, & Hippolyte, 2017) [69]

1.2.7. Líneas de investigación en redes de calor

Por su potencial descarbonizador, las redes de calor se han convertido en una de las mejores soluciones para reducir el impacto medioambiental de los sistemas de calefacción, es por ello que en la actualidad hay abiertas varias líneas de investigación que se centran en la optimización de las redes actuales para transformarlas en redes inteligentes de cuarta generación, en las que se integren las tecnologías renovables de la generación distribuida. (Mazhar, Liu, & Shukla, 2018) [70]

Pero esta integración no sólo deberá considerar las necesidades térmicas de calor y frío, sino que deberá tener en cuenta las necesidades eléctricas, de manera las nuevas tecnologías interrelacionen ambas demandas y el exceso de la producción eléctrica renovable pueda ser utilizado para la producción de calor o el exceso de calor pueda ser utilizado para la producción de frío por absorción.

Por lo tanto, estas optimizaciones van encaminadas a adaptar las redes térmicas inteligentes en paralelo con las redes eléctricas inteligentes en el concepto de ciudades inteligentes con una implicación directa de los consumidores para que sean capaces de gestionar sus consumos a distancia ahorrando energía activamente y estableciendo un control automático de la red con un funcionamiento sin supervisión. (Gaoa, y otros, 2017) [71]

Otro de los aspectos clave para la obtención de redes inteligentes de cuarta generación es la investigación en el paso a redes de baja temperatura que permitan acoplar con mayores eficiencias los sistemas solares y geotérmicos, lo que implica la optimización de los sistemas de acumulación que puedan satisfacer demandas puntas puntuales. (Lund, Duic, Alberg-Ostergaard, & Mathiesen, 2018) [72]

Hay estudios que afirman que tanto los edificios existentes, como los nuevos pueden integrarse en redes de cuarta generación de bajas temperaturas sin sobrecostes importantes dado que se ven rentabilizados por la reducción de las pérdidas energéticas en la distribución. (Lund, y otros, 2018) [73]

Dar el paso a redes de cuarta generación, también incluye la integración de tecnologías de refrigeración en las redes térmicas mediante la utilización de bombas de calor por absorción (Dorotić, Pukšec, & Duić, 2018) [74]

En Europa la investigación en redes térmicas, tiene como objetivo proporcionar sistemas con mayor seguridad energética, competitividad y rentabilidad, para ello se centra en tres áreas:

- Su integración con fuentes de energía renovables
- El aumento de la eficiencia energética de los sistemas
- El estudio del impacto en el medio ambiente y en la salud humana

Para la integración de todos los elementos en redes más eficientes, se requiere sistemas de energía más flexibles con automatizaciones que hagan participar de forma más dinámica a los prosumidores (productores + consumidores) (Sayegh, y otros, 2017) [75]

Todo ello obliga a tener una visión holística o integradora de la red, teniendo en cuenta que todos los agentes deben interactuar de forma coordinada: consumidores, productores, distribuidores energéticos, comercializadores, gestores, mantenedores, ... (Good, Martínez Ceseña, & Mancarella, 2017) [76]

En resumen, estas líneas se basan principalmente en la búsqueda de:

- La integración de múltiples fuentes de energía sostenibles, centralizadas y descentralizadas en la red térmica.
- El aumento de la eficiencia energética del conjunto (calor, frío y electricidad)
- La gestión de los edificios conectados en su globalidad, dado que cualquier edificio podrá funcionar como una fuente de energía o como un sumidero según las necesidades del conjunto en diferentes momentos, integrando el concepto de prosumidor en las redes térmicas.
- Nuevas técnicas más precisas de medición de calor con flujos de energía bidireccionales, con contadores automatizados y transparentes con cifras en tiempo real disponibles para los usuarios que permitan una gestión eficiente de sus equipos para ahorrar energía.

- La optimización de las tecnologías de comunicación e interacción con la electricidad, el gas y el transporte, lo que implica nuevas implementaciones para la gestión automática de aparatos eléctricos y térmicos en edificios.
- Integración de los sistemas de refrigeración con bombas de calor por absorción en las redes térmicas

Unido a esta búsqueda en la eficiencia energética de los sistemas que integran las redes térmicas, se encuentra la búsqueda de herramientas que permitan obtener edificios de energía casi cero. En este contexto las redes que integran a las energías renovables se convierten en una de las herramientas más prometedoras, no sólo para conseguir edificios de consumo casi nulo, sino para obtener distritos de consumo casi cero, lo que abre un nuevo campo de investigación que se va más allá de los límites de los edificios individuales para considerar la influencia del consumo en el contexto urbano, adecuando las metodologías de evaluación del rendimiento energético de los edificios a los distritos y teniendo en cuenta elementos urbanos clave como la morfología de las ciudades, el clima y los espacios públicos. (Amaral, Rodrigues, Rodrigues Gaspar, & Gomes, 2018) [77]

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.

2.1. Cuestiones a resolver y aporte de la tesis

El proyecto de la red de calor de la UVA, ideado en el año 2013, tuvo en cuenta las demandas térmicas de los edificios que iban a formar parte de la red de distribución, sin embargo no se llegó a construir la línea base de estos consumos, que sirviera de referencia para evaluar los potenciales ahorros energéticos que se obtendrían con la red.

Según la Norma UNE-EN ISO 50.001, (AENOR. Asociación Española de Normalización, 2018) [78]

Una línea base es una referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético. (El desempeño energético son los resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía).

Una línea de base energética refleja un periodo especificado

Una línea de base energética puede normalizarse utilizando variables que afecten al uso y/o consumo de la energía, por ejemplo: nivel de producción, grados-día (temperatura exterior), etc.

La línea de base energética también se utiliza para calcular los ahorros energéticos, como una referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético”

Así pues, una de las cuestiones que se pretende resolver en la investigación es el conocimiento de la línea de base energética del periodo anterior al funcionamiento de la red de calor, para lo cual habrá que determinar cuáles son las variables más influyentes en el consumo energético representado en la línea base y obtener una curva matemática que represente esa línea base y tenga en cuenta la variación de los parámetros definidos como los más representativos.

La red de calor de la Universidad de Valladolid, fue ideada para proporcionar además del suministro térmico de los edificios conectados, un ahorro de emisiones y un ahorro energético.

La Red de Calor Urbana en la Universidad de Valladolid permitirá la reducción de 6.800 toneladas anuales de emisiones de CO₂ y un ahorro del 15% anual en calefacción. (PREFIERES. Portal de Eficiencia y Rehabilitación, 2016) [79]

En el 2016, se hablaba de un 15 % de ahorro energético anual, como uno de objetivos a cumplir por la red de calor, este ahorro no ha sido cuantificado hasta el momento y determinarlo es otra de las cuestiones a resolver con la presente tesis.

A la hora de determinar el ahorro conseguido con la implementación de medidas es necesario inferir éste a partir de datos obtenidos mediante medición. Numerosos protocolos de medida y verificación (M&V), explicados en el Anexo I, detallan cómo podría realizarse esta estimación, sin embargo el seguimiento de estos protocolos no garantiza el éxito en la estimación correcta del ahorro. Es necesario aplicar de manera estricta técnicas de inferencia estadística y de análisis de regresión que llevan asociadas una serie de hipótesis que necesitan ser ratificadas, puesto que sin su cumplimiento, los resultados obtenidos no pueden ser considerados como válidos.

Los errores detectados en la aplicación de los protocolos de medida y verificación, suelen deberse a la falta de un análisis exploratorio de los datos de partida, a la incorrecta elaboración de los modelos de regresión y sobre todo a la ausencia de la validación de las hipótesis de los modelos de la línea base de referencia.

Uno de los focos de atención de esta investigación es el estudio de una metodología correcta que, aplicando los protocolos de M&V, detalle y desarrolle unas técnicas estadísticas que permitan obtener unas conclusiones fiables.

El protocolo seleccionado en esta investigación es el Protocolo Internacional de Verificación y Medida (IPMVP), en su opción C de verificación de toda la instalación. Se han tomado como medidas los datos de los contadores propiedad de la Universidad y el periodo en estudio ha sido de más de dos años, por lo que se cumplen todos los supuestos establecidos en el protocolo para poder aplicar la Opción C.

La medida que se verifica con la aplicación del protocolo se traduce en la comprobación del ahorro que supone el cambio del sistema térmico basado en calderas individuales para cada edificio a un suministro de energía útil proveniente de un sistema central que utiliza biomasa como combustible.

Según el Artículo 2.41. de la Directiva 2012/27/CEE, (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2012) [27], se define un sistema Urbano Eficiente de Calefacción y Refrigeración, como todo sistema urbano de calefacción o refrigeración que utilice al menos un 50% de energía renovable, un 50% de calor residual, un 75% de calor cogenerado o un 50% de una combinación de estos tipos de energía y calor.

Dado que la red de calor de la Universidad utiliza calderas de biomasa para satisfacer la demanda de los edificios conectados, según esta definición, se podría considerar como un sistema Urbano Eficiente de Calefacción, sin cuantificar el ahorro energético conseguido.

No obstante, en esta investigación se plantea el suministro de energía proveniente de la red de calor como un sistema de mejora de la eficiencia energética con respecto al sistema de calefacción anterior, es decir se plantea la conexión a la red de calor como una Medida de Mejora de Eficiencia Energética (MMEE), y se utiliza el protocolo IPMVP para cuantificar el ahorro conseguido, este planteamiento con redes de calor no ha sido encontrado en ningún estudio de redes de calor, por lo que se considera otro aspecto innovador en la investigación realizada.

Una vez obtenido el modelo la línea base del consumo térmico y una vez ajustado a la variación de las variables independientes que lo condicionan para los periodos de predicción del consumo, se podrá emplear para pronosticar el consumo energético que hubieran tenido los edificios conectados de no haberse construido la red. Con ello se estimarán cuáles hubieran sido los consumos futuros esperados y tras la comparación de los consumos futuros esperados con los obtenidos en la realidad después de la implantación de la red de distribución de calor, se podrá determinar si existe una diferencia significativa y cuantificarla.

Este proceso de comparación no ha sido establecido por ninguno de los protocolos de M&V, que simplemente se paran en la obtención de los modelos de la línea base. La investigación llevada a cabo en esta tesis da un paso más allá y desarrolla una metodología estadística que, basada en pruebas paramétricas y contraste de hipótesis, ofrece una solución a la interpretación correcta de los resultados obtenidos entre los datos pronosticados y los datos reales obtenidos de la medición de los consumos.

En resumen, el proceso seguido en la investigación realizada, da respuesta a las preguntas reflejadas en la Figura 12.

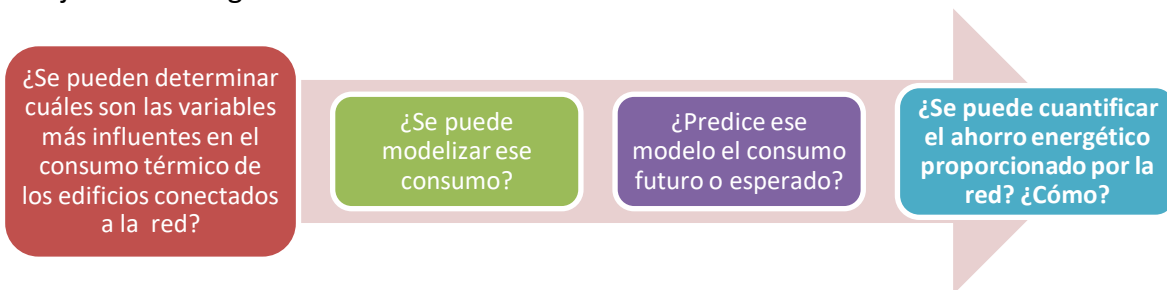


Figura 12. Planteamiento de las cuestiones a resolver

En el 2016, también se estimó el ahorro de emisiones anuales de CO₂ que se pretendía obtener con la red; una vez se haya comprobado la existencia de diferencias significativas en el consumo térmico, se podrá obtener el consumo de energía ahorrada y de ahí el ahorro de emisiones de CO₂, siendo este último paso otra de las cuestiones a la que se dará respuesta con esta tesis.

Paralelamente, una vez se cuantifiquen los ahorros obtenidos se podrá verificar si como cabría esperar en un principio la situación energética de los edificios tras la conexión a la red de calor presenta mejor eficiencia que la situación inicial con el funcionamiento de los sistemas individuales.

Se calcula que los sistemas de gran potencia tiene rendimientos un 10% superiores a los sistemas centralizados de edificio y entre un 30 y un 40% superiores a los individuales de vivienda. (Huerta, Portela, & Pastor, 2010) [80]

2.2. Estado de otras investigaciones

La regresión se ha aplicado en múltiples ocasiones para poder estimar la tendencia que siguen los datos y predecir su comportamiento en un futuro. En el campo de la energía, es habitual emplearlo para estimar los consumos esperados en una instalación o un edificio. Autores como Bilous emplean modelos de regresión no lineales (Bilous, Doshko, & Sukhodub, 2018) [81]; pero lo más frecuente es utilizar modelos de regresión lineales: (Permai & Tanty, 2018) [82], (Roth & Rajagopal, 2018) [83], (Fumo & Rafe Biswas, 2015) [84], (Arregi & Garay, 2017) [85], (Aranda, Ferreira, Mainar-Toledo, Scarpellini, & Llera Sastresa, 2012) [86].

Otros estudios analizan las variables de las que dependen la demanda de calor de los edificios sin recurrir a modelos de regresión de lineal, como es el caso de Werner que explicó que la demanda óptima de calor debe ser proporcional a la raíz cuadrada de los grados día, siendo los grados día de los países europeos del Norte unas veinte veces mayores a los del Sur. (Werner, International review of district heating and cooling, 2017) [87]

En numerosos casos la demanda y el consumo térmico de un edificio son función de los grados día, en estos casos, la base tomada para calcular los grados día puede variar desde 15°C a 22°C, por ejemplo las predicciones del consumo de calefacción realizado para Debrecen (Hungría), se basaron en los grados-día, en base a la temperatura de consigna interior de 20°C y 22°C. (Verbai, Lakatos, & Kalmár, 2014) [88]

La variable grados-día, se ha utilizado en numerosos estudios: estudios sobre comportamientos del consumo térmico en instalaciones industriales (Golden, Woodbury, Carpenter, & O'Neill, 2017) [89], en edificios no residenciales (Meng & Mourshed, 2017) [90], edificios residenciales (Verbai, Lakatos, & Kalmár, 2014) [88], en aplicaciones energéticas (Atalla, Gualdi, & Lanza, 2018) [91] o para estimar la demanda de instalaciones de calor y frío (De Rosa, Bianco, Scarpa, & Tagliafico, 2014) [92]

En cuanto a la metodología para la obtención de los ahorros, existen trabajos que también aplican una sistemática que verifica la diferencia encontrada entre el consumo antes y después de la puesta en marcha de un determinado proyecto; construyendo, para ello, una línea base que representa el consumo esperado que se hubiera tenido, caso de no realizar el proyecto. (Sathayea, y otros, 2004) [93]

En Japón, (Sakamoto, Takase, Matsushashi, & Managi, 2016) [94] también se utilizó la metodología de la línea base para predecir la demanda energética del 2030, pero añadiendo a las variables climáticas otras que contemplaban aspectos socio-económicos del país, el resultado apuntó hacia un descenso en el consumo industrial y un aumento en el sector edificios, al contrario de la previsible tendencia en Europa (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2010) [26].

También en Reino Unido, se empleó dicha metodología para predecir consumos en aras al establecimiento de políticas energéticas. (Strachan, 2011) [95]

En Estados Unidos, (Liang, Hong, & Qiping Shen, 2016) [96] se utilizaron modelos de línea base mejorados no sólo con datos de temperatura exterior, sino con datos de ocupación.

En el estudio de la ciudad de Ginebra (Quiquerez, Lachal, Monnard, & Faessler, 2017) [97], la demanda futura resultó estar determinada por dos variables fundamentales: el crecimiento de la población y el descenso de los grados día, esta predicción fue utilizada para estimar que el ahorro a obtener con la aplicación de medidas de eficiencia energética en los edificios si se combinaban con la implantación de redes de calor, podría llegar a ser del 17 % de la energía demandada.

Como se observa, en números estudios se ha aplicado la regresión, como método predictivo, se supone que en todos ellos se han comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos para que esa regresión sea considerada como válida, pero no se han encontrado evidencias de tales comprobaciones.

Tampoco se han encontrado estudios que utilicen la prueba paramétrica t –Student para la comprobación de diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de los consumos reales y los predichos, mediante la comparación de las medias de los datos observados. Los estudios que estiman el ahorro obtenido con la aplicación de una mejora, lo hacen comparando un solo dato como puede ser el resultado anual del consumo, pero sin utilizar ningún test estadístico.

2.3. Hipótesis de partida y limitaciones

Como se ha comentado, con el desarrollo de la tesis se desea comprobar si el ahorro energético esperado con la ejecución del district heating, estimado en un 15%, es el que se está produciendo.

Para verificar la certeza de esta hipótesis de partida y poder dar explicación a cualquier desviación que se detecte, se establecerá la línea base relativa a los consumos energéticos de los edificios con las siguientes hipótesis y limitaciones:

- Se analizarán los 23 edificios que forman parte de la red de distribución de la Universidad de Valladolid
- Los consumos que serán analizados se corresponden únicamente con los consumos térmicos, provenientes del consumo de combustibles fósiles: gas natural, gasóleo y del consumo de biomasa (astilla). No serán analizados los consumos eléctricos de los edificios.
- El consumo térmico será considerado en su totalidad, sin desglose del consumo debido a calefacción y del consumo debido al agua caliente sanitaria (ACS), empleándose para la estimación del ahorro energético la Opción C del protocolo IPMVP.

Tal opción implica analizar un periodo demostrativo de ahorro igual o superior a dos años o considerar un ahorro superior al 10% de la energía de referencia (En este trabajo se cumplen ambas posibilidades).

- Los datos de los consumos, tal como indica el protocolo IPMVP, consideran la totalidad de las instalaciones térmicas de cada edificio y han sido facilitados por la Universidad de Valladolid, en base a los registros de sus propios contadores de la energía suministrada a cada edificio por la red de calor, en base a la lectura de sus propios contadores del consumo de gasóleo de las instalaciones térmicas de los edificios con gasóleo y en base a las facturas de gas natural de las instalaciones térmicas de los edificios con este combustible. La frecuencia de los datos de estos consumos es mensual.
- Como periodo representativo inicial de su consumo, se tomarán dos temporadas completas de calefacción, desde octubre de 2012 hasta mayo de 2013 y desde octubre de 2013 hasta mayo de 2014.
- Como periodo representación del consumo obtenido tras la implantación de red de calor, o periodo demostrativo de ahorro, se tomarán tres temporadas completas de calefacción, desde octubre de 2015 a mayo de 2016, de octubre de 2016 a mayo de 2017 y de octubre de 2017 a mayo de 2018.
- La temporada comprendida entre octubre de 2014 y mayo de 2015, no se tendrá en cuenta por considerarse el periodo de construcción de la red.

- Los modelos de predicción del consumo han sido ajustados por las variables climáticas que han resultado ser estadísticamente significativas en los modelos de regresión lineal simple múltiple, estos ajustes se corresponderían con los ajustes rutinarios marcados por el protocolo IPMVP.
- Los ajustes no rutinarios debidos a cambios de los tamaños de las instalaciones, cambio en los parámetros de diseño y de consigna interior, tipo y número de ocupantes, hábitos de los usuarios, horarios de funcionamiento de las instalaciones, etc., es decir los parámetros que no se prevén que cambien con el tiempo, no han sido tenidos en cuenta al considerarse constantes durante el periodo demostrativo del ahorro (desde octubre de 2015 hasta mayo de 2018) e iguales al periodo inicial que ha servido de base para la construcción del modelo (desde octubre de 2012 hasta mayo de 2014)
- Los precios de los combustibles fósiles han sido estimados partiendo de datos oficiales publicados, dado que los costes pagados por la Universidad de Valladolid, se han considerado como datos confidenciales. Partiendo de esos datos tan sólo se ha podido estimar el precio máximo al que la Universidad podría adquirir la energía suministrada por la red de calor para obtener un ahorro económico del 15%, ahorro marcado como uno de los objetivos de la red.

2.4. Diseño de la metodología

Con objetivo final citado de verificar si el ahorro conseguido con la red, se corresponde con el inicialmente previsto, se ideó una metodología basada en el análisis estadístico de los consumos antes y después de la construcción de la red. Para ello se siguieron los pasos esquematizados en la Figura 13

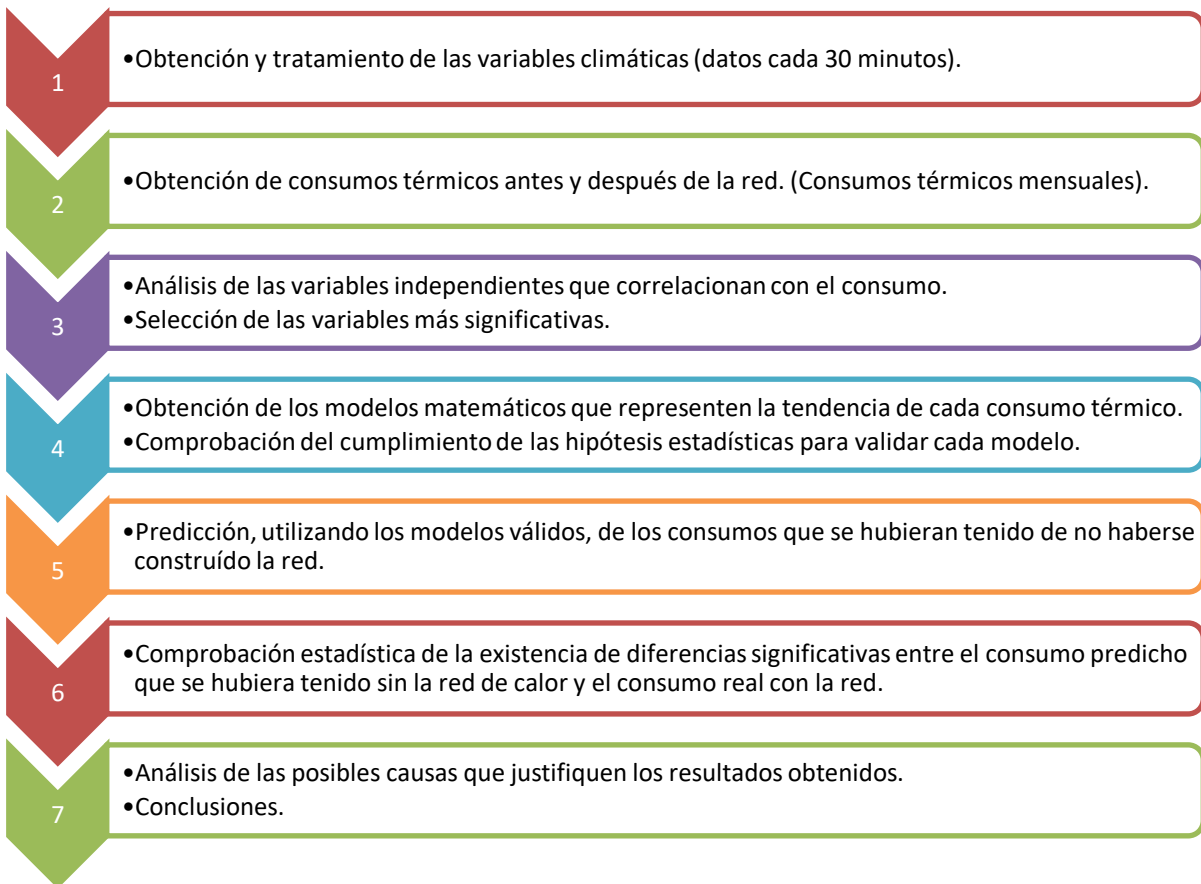


Figura 13. Metodología utilizada en la investigación

A continuación se detallan los pasos seguidos en la investigación:

1) Obtención y tratamiento de las variables climáticas.

Las variables, susceptibles de ser los parámetros independientes que modelasen el consumo esperado de cada edificio, se obtuvieron cada 30 minutos de los últimos 6 años (2012 al 2018) de una estación climática ubicada en Zamadueñas (Valladolid), propiedad del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (InfoRiego) [98] y fueron las relativas a:

- Temperaturas: medias, medias diurnas, máximas y mínimas.
- Grados día: base 15 y base 20.
- Humedades relativas: medias, diurnas, máximas y mínimas.
- Radiación: Intensidad de radiación
- Velocidades del viento: medias, diurnas, nocturnas y máximas.
- Recorrido del viento.
- Precipitación acumulada.
- Horas de sol.

En el estudio que se presenta, las temperaturas, humedades, velocidades, recorrido del viento y precipitaciones, se procesaron para obtener promedios, máximos, mínimos y acumulados mensuales.

En el caso de los Grados día se empleó la siguiente Ecuación 1.

$$GD \text{ Base mes} = \sum_{i=1}^n (Base - T_i) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Base = 15°C ó 18°C

T_i = Temperaturas medidas registradas cada 30 minutos menores a 15°C ó a 18°C

n = Número de intervalos de 30 minutos existentes en cada mes ó

n = Número de días de cada mes (*)

Los grados día fueron calculados de dos formas con datos tomados cada 30 minutos y con datos medios diarios.

Los grados-días son valores que expresan diferencias de temperatura acumuladas; se calculan de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 15927-6: 2009 (AENOR. Asociación Española de Normalización, 2009) [99]. Su cálculo se basa en el concepto de temperatura base, a partir del cual el edificio necesita calefacción.

2) Obtención de los consumos térmicos antes y después de la red de calor.

Se recopilaron los consumos térmicos mensuales desde el 2012 al 2018, correspondientes a los 23 edificios de la Universidad de Valladolid, datos propiedad de la UVA.

La red de calor fue construida en el año 2015, por lo que, como se ha indicado, las temporadas de calefacción de octubre de 2012 a mayo de 2013 y de octubre de 2013 a mayo de 2014, se consideraron como los periodos de referencia anteriores a la red y las temporadas 2015 – 2016, 2016 – 2017 y 2017 – 2018, como periodos posteriores.

Estos consumos, siguiendo el protocolo de medida y verificación: IPMVP, en su Opción C, correspondiente a la verificación del ahorro con ajuste estadístico de toda la instalación, fueron tomados de las facturas energéticas y de los contadores disponibles en las salas de calderas de las centrales de calefacción, propiedad de la UVA.

Los datos de las temporadas octubre 2012 – mayo 2013 y octubre 2013 – mayo 2014, se corresponden con la energía térmica comprada a las compañías suministradoras de gas natural y gasóleo para su suministro a las salas de calderas de los edificios y medida antes de las calderas. Viene dado por la Ecuación 2.

Los datos de las temporadas octubre 2015 – mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017 – mayo 2018, se corresponden con la suma de energía térmica comprada a:

- El suministrador de la energía térmica procedente de la central térmica de Biomasa, Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León, S.A (SOMACyL), medida a la salida del intercambiador de calor de la subestación de cada edificio
- A las compañías suministradoras de gas natural y gasóleo para su suministro a las salas de calderas de los edificios y medida antes de las calderas. Energía que sirve de apoyo a la energía suministrada por la red de calor.

Esta energía viene dada por la Ecuación 3.

$$C_{GI} = \frac{D}{\eta_{SIG}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$C_F = C_{GF} + C_{red} = \frac{D}{\eta_{SF}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$C_{GF} = \frac{D_G}{\eta_{SFG}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Siendo:

C_{GI} = Consumo térmico inicial de los edificios antes de la implantación de la red, es la energía comprada a las compañías suministradoras de gas natural y gasóleo para su suministro a las salas de calderas de los edificios y medido antes de las calderas, es la Energía final consumida con anterioridad a la red de calor (kWh)

D = Demanda térmica de los edificios o Energía final útil consumida (kWh)

η_{SIG} = Rendimiento estacional inicial del sistema térmico que había antes de la conexión del edificio a red de calor

- C_F = Consumo térmico final de los edificios después de la implantación de la red (kWh), es la energía comprada a las compañías suministradoras de gas natural y gasóleo para el suministro de apoyo a las salas de calderas de los edificios y medido antes de las calderas más la Energía comprada de la red de calor, es la Energía final total consumida con posterioridad a la red de calor (kWh)
- C_{GF} = Consumo térmico final de los edificios después de la implantación de la red (kWh), es la energía comprada a las compañías suministradoras de gas natural y gasóleo para el suministro de apoyo a las salas de calderas de los edificios y medido antes de las calderas, es la Energía final consumida proveniente de los suministradores de gas y gasóleo (kWh)
- C_{red} = Compra de energía térmica a la red que coincide con la demanda térmica de los edificios después de la implantación de la red, satisfecha con la energía comprada a la red de calor (kWh), puesto que es medida después del intercambiador de la subestación, es la Energía final consumida proveniente del gestor de la red de calor de biomasa (kWh).
- η_{SF} = Rendimiento estacional final del sistema térmico que hay después de la conexión del edificio a la red de calor
- D_G = Demanda térmica de los edificios o energía final útil consumida (kWh) después de la implantación de la red, no satisfecha con la energía térmica comprada a la red de calor.
- η_{SFG} = Rendimiento estacional final de las calderas después de la red de calor

Como la demanda térmica de los edificios ha permanecido constante en las temporadas anteriores y posteriores a la red de calor, se cumplen las siguientes Ecuaciones 5, 6, 7 y 8:

$$D = D_G + C_{red} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$C_{GI} * \eta_{SIG} = C_{GF} * \eta_{SFG} + C_{red} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$C_{red} = C_{GI} * \eta_{SIG} - C_{GF} * \eta_{SFG} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\eta_{SIG} = \frac{C_{GF} * \eta_{SFG} + C_{red}}{C_{GI}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

En el estudio se ha considerado cada edificio como un sistema donde la energía entrante es la energía comprada a los suministradores y la energía saliente es, por una parte la energía pérdida por el uso de las calderas y resto de equipos del sistema térmico, medida a lo largo de toda una temporada de calefacción, es decir la energía perdida debido al rendimiento estacional de las calderas y por otra la energía térmica útil disponible para satisfacer las necesidades térmicas del edificio.

En la situación anterior a la conexión del edificio a la red de calor, la única energía entrante es la comprada a los suministradores de gas o gasóleo, en la situación posterior a la incorporación del edificio a la red de calor, hay dos energías entrantes, la comprada al gestor de la red de calor y la comprada al suministrador de gas o gasóleo para satisfacer la demanda térmica que no ha podido satisfacer la red de calor.

En ambas situaciones la energía térmica útil disponible para satisfacer las necesidades térmicas se considera la misma, al no haberse producido ninguna mejora en la envolvente del edificio, ni modificaciones en el horario y uso de los sistemas térmicos. En la Figura 14, se esquematiza el proceso ideado para cada edificio. Al mantenerse la demanda, la variable que se modifica en una situación respecto a la otra es el rendimiento estacional de los sistemas térmicos. Uno de los factores que determinan ese rendimiento son las pérdidas por los arranques y paradas, es decir por la disponibilidad de las calderas (a mayor número de arranques y paradas, existirán más pérdidas que en un funcionamiento de manera continuada).

De modo que si toda la demanda térmica fuera satisfecha con la energía comprada a la red de calor, el ahorro que se obtendría con la conexión a la red, sería el debido al rendimiento estacional de los sistemas iniciales de cada edificio.

A medida que los sistemas térmicos de cada edificio, necesitan entrar para satisfacer parte de la demanda que la energía comprada a la red no satisface, la eficiencia de la conexión se empeora, tanto así, que pudiera llegar a consumir más energía que en la situación inicial.

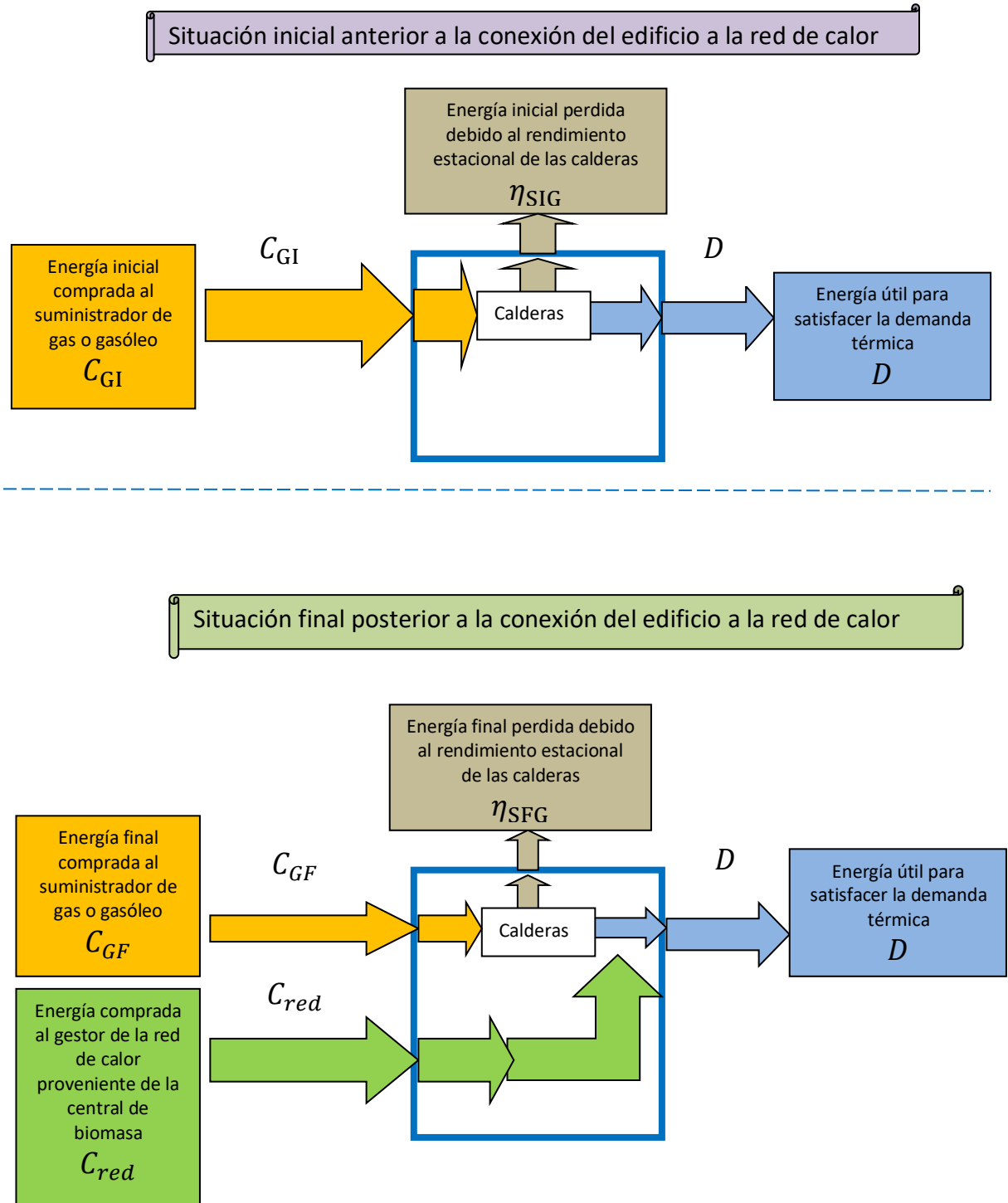


Figura 14. Esquema de la situación de los edificios antes y después de su conexión a la red

3) Análisis estadístico de las variables correlacionadas con el consumo.

En este estudio, el software estadístico empleado ha sido SPSS (IBM, 2011) [100] y se ha utilizado el contraste de hipótesis en todo el proceso, de manera que se establece una hipótesis estadística que puede ser cierta o no y con la información extraída de las muestras de los consumos se contrasta para aceptarla o rechazarla.

Así, partiendo de los datos de estudio, se define un estadístico de contraste, un valor que depende de la muestra en estudio, calculado a partir de los datos de la muestra, y cuya distribución de probabilidad es conocida. Para poder conocer esa distribución se establecen varios supuestos referidos a dos aspectos: (Universidad de Sevilla) [101]

- Características de los datos, lo habitual es un supuesto de independencia de los mismos.
- Forma de la distribución de partida, generalmente se parte del supuesto de normalidad de los datos.

De tal forma que si se cumplen esos supuestos, la distribución muestral del estadístico de contraste es conocida y a partir de ella se puede tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando el estadístico presente bajas probabilidades de que ocurra, es entonces cuando el estadístico estará en la región de rechazo (conjunto de valores que es más improbable bajo la hipótesis formulada). Por lo tanto si el estadístico en estudio está dentro de este intervalo de rechazo, la hipótesis nula será rechazada.

Cuando no se cumplen los supuestos, no se sabe la distribución de probabilidades del estadístico por lo que no se puede asegurar que las conclusiones obtenidas son válidas, de ahí la importancia de comprobar los supuestos bajo los que los resultados estadísticos pueden ser considerados como fiables.

En la investigación se ha fijado el nivel de confianza $(1-\alpha)\%$, en el 95%, o lo que es lo mismo se ha establecido un nivel de significación o riesgo mínimo de $\alpha = 0,05$, lo que indica que se acepta un riesgo del 5% de estar equivocado al rechazar la hipótesis nula.

El nivel de confianza de una investigación expresa en qué medida los resultados obtenidos no dependen del azar ni se ven influenciados por factores de ruido, difíciles de controlar. Resultados obtenidos con niveles de confianza del 95% se pueden considerar estadísticamente relevantes, asegurando que los resultados son estables. (Adobe Experience Cloud Help) [102]

Un primer paso para determinar los modelos matemáticos que simularon los consumos térmicos, fue determinar las variables climáticas independientes para cada edificio y con peso significativo en la regresión, siendo la variable dependiente: el consumo de cada edificio durante el periodo octubre 2012 hasta mayo 2014.

En la relación lineal que existe entre las variables regresoras, explicativas o independientes y la variable respuesta o dependiente, se fueron eligiendo las variables regresoras que debían formar parte del modelo de regresión con el método Stepwise “paso a paso” o “pasos sucesivos”.

Con este procedimiento el programa va eligiendo las variables regresoras que deben formar parte del modelo de regresión. Según este método, se parte inicialmente del modelo sin ninguna variable regresora, solo con el término independiente, y en cada paso se introduce en el modelo la variable independiente más significativa.

Para introducir cada variable independiente se utiliza el test de significación de la regresión, donde la hipótesis nula considerada (H_0) es que la pendiente de la variable independiente en el modelo de regresión sea igual a 0, frente a la hipótesis alternativa (H_1) consistente en que la pendiente sea distinta de 0.

Para poder aceptar o rechazar H_0 , se observa el “p-valor” o probabilidad de cometer un error por rechazar la hipótesis nula siendo cierta, del test realizado.

Van entrando en el modelo aquellas variables que rechacen la hipótesis nula, que son las que poseen una pendiente estadísticamente significativa y esto ocurre si “p-valor” \leq nivel de significación (α). En el estudio se establece un valor del nivel de significación de 0,05 (5%) o lo que es lo mismo un valor del nivel de confianza, representado en estadística por $(1 - \alpha)$ del 95%. Este nivel de confianza indica que aceptamos los resultados con un riesgo a estar equivocados del 5%, o lo que es lo mismo el nivel de significación aceptado indica que las posibilidades de fallar en la estimación son del 5%.

Por lo tanto, el primer paso para que una variable entre en el modelo es que cumpla la regla de entrada que es considerar el p-valor \leq 0,05. Una vez que ha entrado la primera variable independiente que, además de superar el criterio de entrada, más alto correlaciona (en valor absoluto) con la variable dependiente, se continúa seleccionando la variable independiente que además de superar el criterio de entrada, posee el coeficiente de correlación parcial más alto (en valor absoluto). Cada vez que se introduce una nueva variable independiente, se cuestiona si todas las variables introducidas deben permanecer en el modelo, siendo el criterio de salida del modelo que las variables tengan un “p-valor” \geq 0,1 (p-valor de salida). Si alguna variable cumple el criterio de salida es eliminada del modelo. El proceso concluye cuando no entran ni salen más variables.

4) Obtención de los modelos de regresión.

Se buscan los modelos de regresión que representen la tendencia de los consumos de cada edificio, validando las hipótesis estadísticas del modelo de regresión lineal simple y múltiple.

En los modelos de una variable, la recta de regresión lineal simple está indicada en la Ecuación 9:

$$kWh = Cte + \beta \times Variable \quad (\text{Ecuación 9})$$

Para los modelos multivariantes o de regresión múltiple, que contienen más de un regresor la recta es, la mostrada en la Ecuación 10:

$$kWh = Cte + \beta_1 \times Variable_1 + \beta_2 \times Variable_2 \quad (\text{Ecuación 10})$$

A continuación se detallarán las hipótesis bajo las que se construyen los modelos de regresión lineal y cómo han sido comprobadas en la investigación.

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables**, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.

Para comprobarlo, mediante un test de contraste se verifica que el coeficiente de Correlación de Pearson es distinto de cero ($R \neq 0$). El coeficiente de correlación de Pearson indica el grado de dependencia entre las variables independientes y la variable dependiente, ($R = -1$ indica correlación perfecta inversa, $R = 0$ indica que no existe ninguna correlación y $R = 1$ indica correlación perfecta directa).

Por lo tanto, si la probabilidad del estadístico utilizado en el test de contraste es menor o igual al nivel de significación (valor de la significación es $\leq 0,05$), la hipótesis nula establecida como $R=0$, será rechazada y aceptaremos que hay correlación significativa entre las variables y por tanto linealidad entre las variables.

- **Normalidad.** Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de las variables independientes (X).

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones).

Mediante un test de contraste se comprueba que se acepta la hipótesis nula que afirma que las variables se distribuyen según una normal (Ho = la distribución es Normal), luego si la probabilidad del estadístico del test es menor o igual al nivel de significación 0,05, la hipótesis nula será rechazada y sólo aceptaremos que las variables se distribuyen según una Normal cuando el valor de la significación sea mayor que 0,05 (valor de la significación > 0,05) en el Test de Shapiro Wilk.

- **Independencia de los errores.** Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros, si esto no ocurriera da idea de que los errores contienen cierta persistencia y por lo tanto no se deben a factores únicamente aleatorios, desconectados o independientes unos de otros. Por lo tanto cuando existe autocorrelación, el error cometido en un momento del tiempo estará influenciado por el error de periodos previos. (Mahía, 2010) [103]

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson, definido según la Ecuación 11.

$$DW = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

- n = Número de observaciones.
- ε_i = error o residuo de cada observación.

En el caso de autocorrelación máxima y positiva DW = 0

En el caso de autocorrelación máxima y negativa DW = 4

En el caso de que no exista autocorrelación DW = 2

La distribución de este estadístico no sólo depende de los grados de libertad con los que se calcula, sino también de los valores de las variables independientes. Es decir en algunas regresiones el valor del estadístico DW tiende a acercarse más a 2 que en otras, lo que impide utilizar valores tabulados exactos para contrastar la hipótesis de ausencia de autocorrelación, no obstante, con ayuda de las tablas de Durbin Watson, se puede establecer áreas de certeza de no autocorrelación.

Para un determinado nivel de significación, las tablas del DW dan dos valores, uno dL inferior y otro dU superior, ambos valores están entre 0 y 3

- El intervalo $[dU, 4-dU]$, intervalo centrado en el 2, indica la ausencia de autocorrelación.
- Los intervalos $[0, dL]$ y $[4-dL, 4]$ son zonas de rechazo, indican autocorrelación positiva o negativa
- Las zonas $[dL, dU]$ y $[4-dU, 4-dL]$, son zonas de incertidumbre, en las que el estadístico DW no permite rechazar o aceptar la hipótesis nula. Como se puede apreciar en la Figura 15.

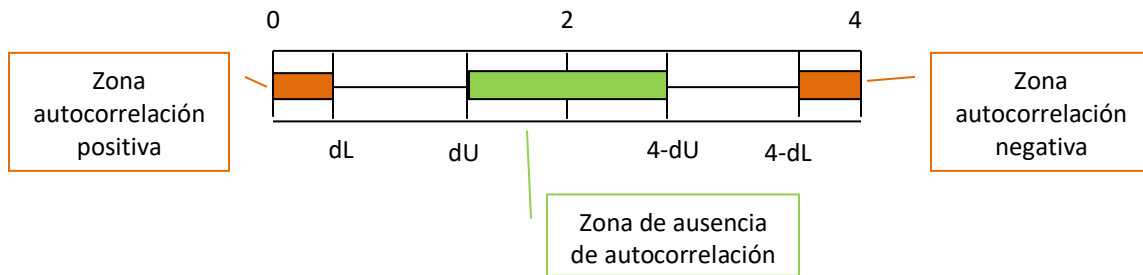


Figura 15. Intervalos de rechazo de autocorrelación según el estadístico DW

A continuación se muestra la Tabla 3 del Estadístico de Durbin Watson para un nivel de significancia del 5%, donde n es el tamaño de la muestra y k el número de variables independientes del modelo. (Antunez) [104]

Tabla 3. Estadístico de Durbin Watson para $\alpha = 0,05$

n\k	1dL	1dU	2dL	2dU	3dL	3dU	4dL	4dU	5dL	5dU	6dL	6dU	7dL	7dU	8dL	8dU	9dL	9dU	10dL	10dU	
6	0,610	1,400																			
7	0,700	1,356	0,467	1,896																	
8	0,763	1,332	0,559	1,777	0,367	2,287															
9	0,824	1,320	0,629	1,699	0,455	2,128	0,296	2,588													
10	0,879	1,320	0,697	1,641	0,525	2,016	0,376	2,414	0,243	2,822											
11	0,927	1,324	0,758	1,604	0,595	1,928	0,444	2,283	0,315	2,645	0,203	3,004									
12	0,971	1,331	0,812	1,579	0,658	1,864	0,512	2,177	0,380	2,506	0,268	2,832	0,171	3,149							
13	1,010	1,340	0,861	1,562	0,715	1,816	0,574	2,094	0,444	2,390	0,328	2,692	0,230	2,985	0,147	3,266					
14	1,045	1,350	0,905	1,551	0,767	1,779	0,632	2,030	0,505	2,296	0,389	2,572	0,286	2,848	0,200	3,111	0,127	3,360			
15	1,077	1,361	0,946	1,543	0,814	1,750	0,685	1,977	0,562	2,220	0,447	2,471	0,343	2,727	0,251	2,979	0,175	3,216	0,111	3,438	
16	1,106	1,371	0,982	1,539	0,857	1,728	0,734	1,935	0,615	2,157	0,502	2,388	0,398	2,624	0,304	2,860	0,222	3,090	0,155	3,304	
17	1,133	1,381	1,015	1,536	0,897	1,710	0,779	1,900	0,664	2,104	0,554	2,318	0,451	2,537	0,356	2,757	0,272	2,975	0,198	3,184	
18	1,158	1,391	1,046	1,535	0,933	1,696	0,820	1,872	0,710	2,060	0,603	2,258	0,502	2,461	0,407	2,668	0,321	2,873	0,244	3,073	
19	1,180	1,401	1,074	1,536	0,967	1,685	0,859	1,848	0,752	2,023	0,649	2,206	0,549	2,396	0,456	2,586	0,369	2,783	0,290	2,974	
20	1,201	1,411	1,100	1,537	0,998	1,676	0,894	1,828	0,792	1,991	0,691	2,162	0,595	2,339	0,502	2,521	0,416	2,704	0,336	2,885	
21	1,221	1,420	1,125	1,538	1,026	1,669	0,927	1,812	0,829	1,964	0,731	2,124	0,637	2,290	0,546	2,461	0,461	2,633	0,388	2,806	
22	1,239	1,429	1,147	1,541	1,053	1,664	0,958	1,797	0,863	1,940	0,769	2,090	0,677	2,246	0,588	2,407	0,504	2,571	0,424	2,735	
23	1,257	1,437	1,168	1,543	1,078	1,660	0,986	1,785	0,895	1,920	0,804	2,061	0,715	2,208	0,628	2,360	0,545	2,514	0,465	2,670	
24	1,273	1,446	1,188	1,546	1,101	1,656	1,013	1,775	0,925	1,902	0,837	2,035	0,750	2,174	0,666	2,318	0,584	2,464	0,506	2,613	
25	1,288	1,454	1,206	1,550	1,123	1,654	1,038	1,767	0,953	1,886	0,868	2,013	0,784	2,144	0,702	2,280	0,621	2,419	0,544	2,560	

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

Si la prueba resultada no concluyente, se verificará la ausencia de correlación, mediante los gráficos de los residuos frente al tiempo.

- **Homocedasticidad de la varianza.** Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) (Ecuación 12) es constante para cualquier valor de la(s) variable(s) independiente(s) (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

- ε_i = Cada error $Y_i - \hat{Y}_i$
 - Y_i = Cada uno de los valores de la variable dependiente, en nuestra investigación es el consumo real de cada edificio
 - \hat{Y}_i = Cada uno de los valores pronosticados de la variable dependiente, en nuestra investigación es el consumo pronosticado con el modelo de regresión
- $\bar{\varepsilon}$ = media de los errores
- n = número de errores.

Esta condición indica que el error es una variable aleatoria que tomará un valor distinto cada vez que se ejecute el modelo y que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos.

La forma de comprobar la homocedasticidad es verificando si el coeficiente de determinación R^2 , que indica la proporción de la variable dependiente (Y o consumo del edificio) que puede ser explicada por la variación de las variables independientes (las variables climatológicas), en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variables independientes es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Estas condiciones se traducen en que la distribución de la variable dependiente (Y) es Normal, con varianza constante σ^2 y media que varía linealmente con la(s) variable(s) independiente(s) (X), dada por $\beta X + cte$ y los valores pronosticados de la variable dependiente (Y) son independientes entre sí.

- Cuando la regresión sea lineal múltiple, se comprueba la **falta de multicolinealidad o No-Colinealidad** entre las variables independientes, es decir que las variables que forman parte del modelo no están correlacionadas entre ellas.

Si dos variables independientes están muy relacionadas entre sí y se incluyen en el modelo es muy probable que ninguna de las dos resulte estadísticamente significativa.

En cambio, si se incluye una sola de ellas, sí podría resultar estadísticamente significativa, para analizar si el modelo se vuelve inestable al introducir una nueva variable, se estudian los índices de colinealidad.

De acuerdo con los estudios realizados por Belsley, Kuh y Welsch (Belsley, Kuh, & Welsch, 2005) [105], tanto con datos observados como con datos simulados, el problema de la multicolinealidad es moderado cuando el índice de condición toma un valor entre 20 y 30 y es grave cuando el índice de condición toma un valor superior a 30.

En la investigación se ha obtenido el índice de condición para los modelos de regresión múltiple, comprobándose que es inferior a 20. A mayores se analizaron unos índices estadísticos de colinealidad como son los niveles Tolerancia y su inverso que son los Factores de Inflación de la Varianza (FIV). El nivel de tolerancia se obtiene restando a 1 el coeficiente de determinación (R^2), si la Tolerancia toma un valor próximo a la unidad no existirá colinealidad (a mayor tolerancia menor colinealidad), por lo que se podrá deducir que no existe multicolinealidad entre las variables independientes. Pueden existir problemas de colinealidad si algún FIV es superior a 10.

5) Predicción de los consumos esperados.

Para los periodos posteriores a la construcción de la red, utilizando los modelos de regresión y las variables climáticas de los periodos posteriores, se pronosticaron los consumos que se hubieran tenido sin la red de calor y se calcularon los consumos acumulados. Estos consumos se compararon con los consumos acumulados obtenidos realmente, durante las temporadas: 2015 – 2016, 2016 – 2017 y 2017 – 2018.

6) Comprobación estadística de la existencia de diferencias significativas.

Se analizó si la diferencia entre los consumos predichos que se hubieran tenido de no haber construido la red y el consumo real tras haber construido la red, era estadísticamente significativa, con un nivel de confianza del 95%.

Para ello, se procedió a comparar las medias de ambas poblaciones independientes con técnicas de inferencia estadística, realizando un contraste de hipótesis para la diferencia de medias y como estadístico de contraste en la prueba para muestras relacionadas la “t” de Student.

En el estudio se ha utilizado el contraste de hipótesis para la comparación de medias con varianzas desconocidas e iguales, es decir la prueba para muestras relacionadas, especialmente indicada para la comparación de las medias de dos grupos cuando existe algún tipo de relación entre los individuos de ambos grupos.

En el estudio, la relación era que los consumos estaban asociados a la misma instalación, pero en diversos periodos de tiempo.

Por tanto, se calcularon las diferencias entre los valores de las variables y se contrastó si la diferencia de medias difería de cero (H_0 : diferencia de medias = 0, H_1 = diferencia de medias \neq 0). Aunque en los estadísticos descriptivos se pueda comprobar que las medias de los consumos pronosticados son superiores o inferiores a los consumos reales, se recurre a la prueba de contraste de medias para verificar si esta diferencia es estadísticamente significativa.

De este modo, si el “p-valor” o la probabilidad del estadístico del contraste de hipótesis resulta ser $\leq 0,05$ (nivel de significación considerado), se rechaza la hipótesis nula con un riesgo de error inferior o igual al 5%, es decir se puede afirmar que existen diferencias significativas. En caso contrario, si el “p-valor” del contraste de hipótesis resulta $> 0,05$, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, se podría aceptar esta hipótesis con una certeza del 95 %, concluyendo que las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas y no van más allá de lo que sería esperable por azar.

Luego si la probabilidad del estadístico es menor al nivel de significación 0,05, la hipótesis nula será rechazada.

En resumen, los contrastes de hipótesis utilizados en esta investigación son los referidos a:

- Normalidad de las variables
- Existencia de correlación entre las variables
- Existencia de peso de una variable en una correlación (pendiente distinta de cero)
- Diferencias de medias entre poblaciones

En la Tabla 4 se muestran las hipótesis nulas y alternativas establecidas para cada contraste y cuando se considera rechazada la hipótesis nula

Tabla 4. Hipótesis nulas y alternativas de la investigación

Contrastes	Hipótesis nula: H_0	Hipótesis alternativa: H_1	Valor de la significación: p-valor ó Sig	Decisión
Normalidad de las variables	H_0 = las variables se distribuyen según una distribución Normal	H_1 = la distribución de las variables no es según una distribución Normal	$\leq 0,05$	Rechazo H_0 . La distribución de las variables no es según una distribución Normal
Existencia de correlación entre las variables	R (Correlación de Pearson) = 0. No hay correlación entre las variables	R (Correlación de Pearson) $\neq 0$. Hay correlación entre las variables	$\leq 0,05$	Rechazo H_0 . Hay correlación significativa entre las variables
Existencia de peso de una variable en una correlación	β (la pendiente de una variable en una ecuación) = 0. La variable no entra a formar parte de la ecuación	β (la pendiente de una variable en una ecuación) $\neq 0$. La variable entra a formar parte de la ecuación	$\leq 0,05$	Rechazo H_0 . La variable entra a formar parte de la ecuación con un peso significativo
Diferencias de medias entre poblaciones	Media de una población = Media de otra población. No hay diferencias entre las medias de dos poblaciones	Media de una población \neq Media de otra población. Hay diferencias entre las medias de dos poblaciones	$\leq 0,05$	Rechazo H_0 . Hay diferencias significativas entre las medias de dos poblaciones

7) Análisis de las posibles causas que justifiquen los resultados obtenidos.

Como último paso del estudio se analizaron las posibles causas que pudieran justificar los resultados estadísticos de existencia o no de diferencias significativas antes y después de la puesta en marcha de la red de calor.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL CASO EN ESTUDIO.

3.1. Descripción general de la red.

Durante el año 2013, la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, a través de SOMACyL (Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de Castilla y León, S.A), inició la promoción de un proyecto de calefacción de distrito. El resultado fue la ejecución, en el 2015, de una red de calor, por parte de la UTE: Rebi-Cofely, con los siguientes datos básicos:

- 27 edificios conectados
- 14,1 MW térmicos instalados inicialmente en 3 calderas
- 80.000 litros de acumulación en dos depósitos de 40.000 l
- 12 km de longitud de la red
- 7.800 Toneladas / año de consumo de Biomasa (astilla forestal)
- 22.000 MWh/año de demanda de calor atendida
- 6.800 Toneladas de CO₂ / año de reducción de emisiones
- 5.000.0000 € más IVA de presupuesto total
- 15 años de amortización con cargo al ahorro generado por el propio proyecto.
- 15 % anual de ahorro en el coste energético de calefacción

Esta red fue diseñada para suministrar 22.069.734 kWh anuales al conjunto de los edificios conectados, de los cuales 17.187.869 kWh pertenecían al consumo de la UVA (77,87%), 515.180 kWh correspondían a edificios del Ayuntamiento de Valladolid (2,33%) y 4.366.685 kWh a edificios de la Junta de Castilla y León (19,80%).

Para satisfacer estos consumos se estimó la necesidad de 7.886 Toneladas / año de astilla. (Cano Herrador, Valbuena García, Muñoz Martín, Rey Martínez, & Navas Gracia, 2014) [64]

Las emisiones de CO₂ evitadas a la atmósfera fueron estimadas en 6.800 toneladas de CO₂ / año, de las cuales la UVA evitaría 5.446 t CO₂/ año, el Ayuntamiento 170 t CO₂/ anuales, y la Junta de Castilla y León 1.195 t CO₂ / anuales. Esta reducción de emisiones, permitiría que la Universidad de Valladolid disminuyera considerablemente su Huella de Carbono, puesto que supondría una reducción de un 75% de las emisiones asociadas al suministro térmico de calefacción, así mismo permitiría mejorar en 1 ó 2 letras, la calificación energética de los edificios conectados.

La central térmica, donde se ubican las calderas se sitúa en la zona Norte del Campus Miguel Delibes, en una parcela anexa al edificio Lucia; (ver Figura 16) está compuesta por dos naves adosadas de una superficie total de 1.400 m², en una sala se ubican las calderas caldera y en la otra sala se ubica el silo de una capacidad de 1800 m³.



Figura 16. Ubicación de la Central Térmica.

(Universidad de Valladolid (UVA), Junta de Castilla y León, Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente (SOMACyL), 2015) [106]

De la central térmica parten dos circuitos o ramales de tubería de acero preaislado, como se aprecia en la Figura 17.



Figura 17. Ramales de los dos circuitos
(Cano Herrador, Valbuena García, Muñoz Martín, Rey Martínez, & Navas Gracia, 2014) [64]

El primer ramal discurre fundamentalmente por el parking subterráneo del Campus universitario Miguel Delibes y satisface la demanda de 12 edificios pertenecientes a dicho campus. En las Figuras 18, 19 y 20, se pueden ubicar los edificios pertenecientes a este ramal:

Ramal del Campus Universitario Miguel Delibes, Edificios conectados

- D1. Apartamentos Cardenal Mendoza
- D2. Biblioteca de los Apartamentos Cardenal Mendoza
- D3. Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas (CTTA)
- D4. Aulario – Biblioteca Miguel Delibes
- D5. Edificio IOBA (Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada)
- D6. Nueva Facultad de Ciencias
- D7. ETSI. Telecomunicaciones e Escuela de Ingeniería Informática
- D8. Edificio QUIFIMA (Química Fina y Materiales Avanzados)
- D9. Gimnasio de la Facultad de Educación
- D10. Centro de Idiomas
- D11. Facultad de Educación y Trabajo Social
- D12. Edificio I +D



Figura 18. Ubicación de la red del Campus Miguel Delibes.
(Universidad de Valladolid (UVA), Junta de Castilla y León, Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente (SOMACyL), 2015) [106]

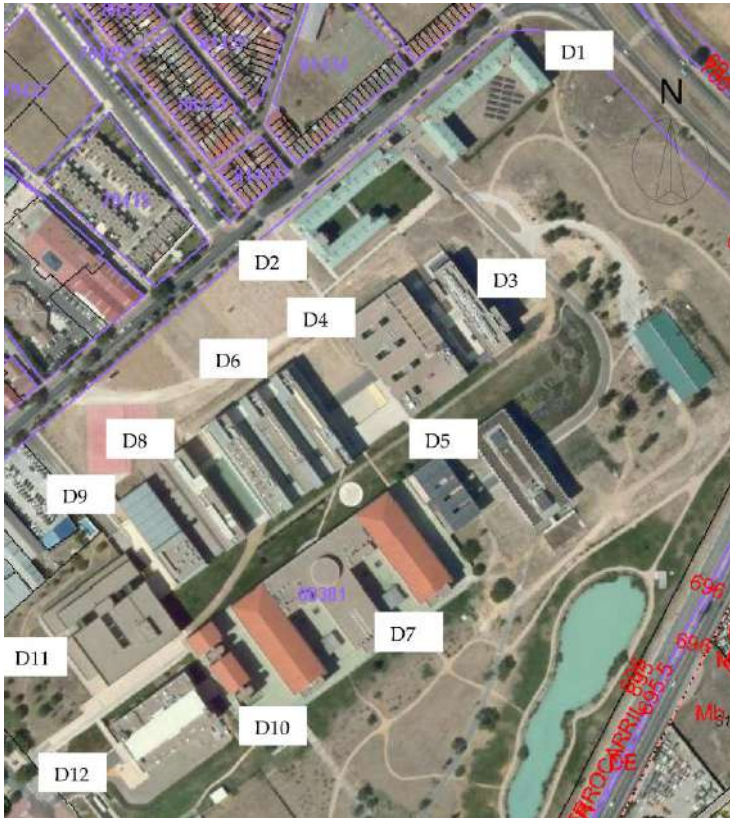


Figura 19. Campus Miguel Delibes

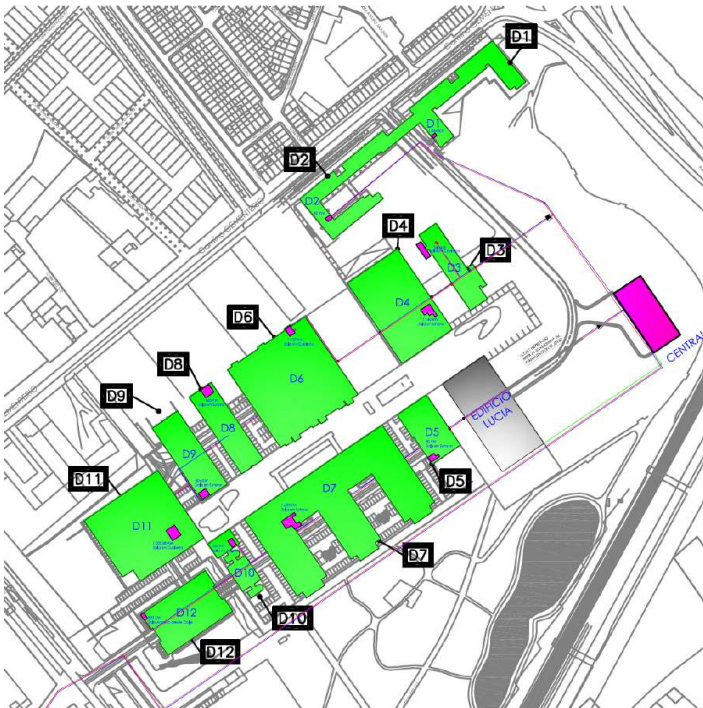


Figura 20. Esquema de ubicación de los edificios del Ramal del Campus Miguel Delibes

D1. Apartamentos Cardenal Mendoza

D2. Biblioteca de los Apartamentos Cardenal Mendoza

D3. Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas (CTTA)

D4. Aulario – Biblioteca Miguel Delibes

D5. Edificio IOBA (Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada)

D6. Nueva Facultad de Ciencias

D7. ETSI. Telecomunicaciones e Escuela de Ingeniería Informática

D8. Edificio QUIFIMA (Química Fina y Materiales Avanzados)

D9. Gimnasio de la Facultad de Educación

D10. Centro de Idiomas

D11. Facultad de Educación y Trabajo Social

D12. Edificio I +D

El segundo ramal comunica la central térmica con otros 11 edificios pertenecientes al campus universitario Río Esgueva y otros 4 edificios más de la Junta de Castilla y León. Este segundo ramal se puede apreciar en las Figuras 21, 22 y 23.

Ramal del Campus Universitario Río Esgueva. Edificios de la UVA conectados

- E1. Edificio del Servicio de Mantenimiento
- E2. Facultad de Comercio
- E3. Facultad de Filosofía y Letras
- E4. Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Mergelina)
- E5. Edificio Residencia Universitaria Alfonso VIII
- E6. Edificio Colegio Mayor Femenino Santa Cruz
- E7. Edificio IBGM (Instituto de Biología y Genética Molecular)
- E8. Facultad de Medicina y Facultad de Enfermería
- E13. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
- E14. Aulario Campus Río Esgueva
- E15. Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Paseo del Cauce)

Ramal del Campus Universitario Río Esgueva. Edificios de la Junta de Castilla y León (Deportes) conectados

- J1. Residencia Deportiva Río Esgueva
- J2. Centro de Atletismo de Alto Rendimiento
- J3. Piscinas Climatizadas Río Esgueva
- J4. Pabellón Polideportivo Río Esgueva



Figura 21. Ubicación del segundo ramal. Campus Río Esgueva y Zonas deportivas (Universidad de Valladolid (UVA), Junta de Castilla y León, Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente (SOMACyL), 2015) [106]



Figura 22. Ubicación del Campus Río Esqueva

- E1. Edificio del Servicio de Mantenimiento
- E2. Facultad de Comercio
- E3. Facultad de Filosofía y Letras
- E4. Escuela de Ingenierías Industriales (Antigua Facultad de Ciencias. Sede Mergelina)
- E5. Edificio Residencia Universitaria Alfonso VIII
- E6. Edificio Colegio Mayor Femenino Santa Cruz
- E7. Edificio IBGM (Instituto de Biología y Genética Molecular)
- E8. Facultad de Medicina y Facultad de Enfermería
- E13. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
- E14. Aulario Campus Río Esqueva
- E15. Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Paseo del Cauce)



Figura 23. Esquema de ubicación de los edificios de la UVA del Ramal del Campus Río Esqueva

En un futuro, el Ramal del Campus Universitario Río Esgueva, se podría ampliar para satisfacer la demanda de otros edificios públicos y privados del entorno:

Edificios del Ayuntamiento

- A1. Polideportivo Miriam Blasco
- A2. Colegio García Lorca
- A3. Centro Cívico

Edificios de la JCYL (Sanidad)

Hospital Clínico Universitario

En el verano de 2018, se conectó el Hospital Clínico Universitario a la red y en un futuro próximo se prevé la conexión de otros tres edificios pertenecientes a la Universidad de Valladolid: el edificio de la Casa del Estudiante, la Biblioteca Reina Sofía y el Palacio de Congresos Conde Ansúrez.

En la Figura 24 , se muestra el esquema general de la red

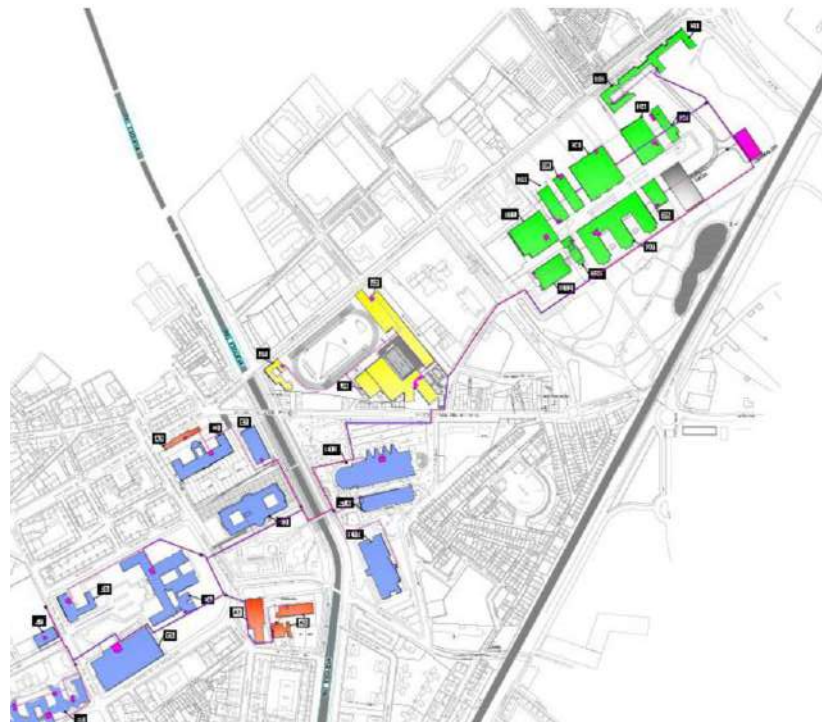


Figura 24. Esquema general de la red de calor.
(Cano Herrador, Valbuena García, Muñoz Martín, Rey Martínez, & Navas Gracia, 2014) [64]

En total, se construyó una red de calor de 12 km de longitud, con tuberías de diámetro DN32 y DN350, que impulsa agua caliente a 90°C y la retorna a 70°C.

La Central Térmica se ubica en una parcela anexa al Edificio Lucia, es un edificio de 1.400 m² de superficie. En dicho edificio está la nave ocupada por las calderas y la nave ocupada por el silo. En las Figuras 25, 26, 27, 28, 29 y 30 se muestran varias fotografías y esquemas de la misma.



Figura 25. Vista posterior de la Central Térmica. Fachada Noroeste



Figura 26. Fachada principal de la Central Térmica. Suroeste. (Lorenzo, 2017) [107]



Figura 27. Vista aérea de la Central Térmica

Inicialmente se instalaron 3 calderas de biomasa 4,7 MW cada una, y durante la temporada 2017 - 2018, se instaló la cuarta caldera de 5 MW, para poder la demanda del Hospital Clínico de Valladolid. Lo que hace un total de 19,1 MW de potencia total instalada en la actualidad. El rendimiento mínimo de estos equipos es del 86%.

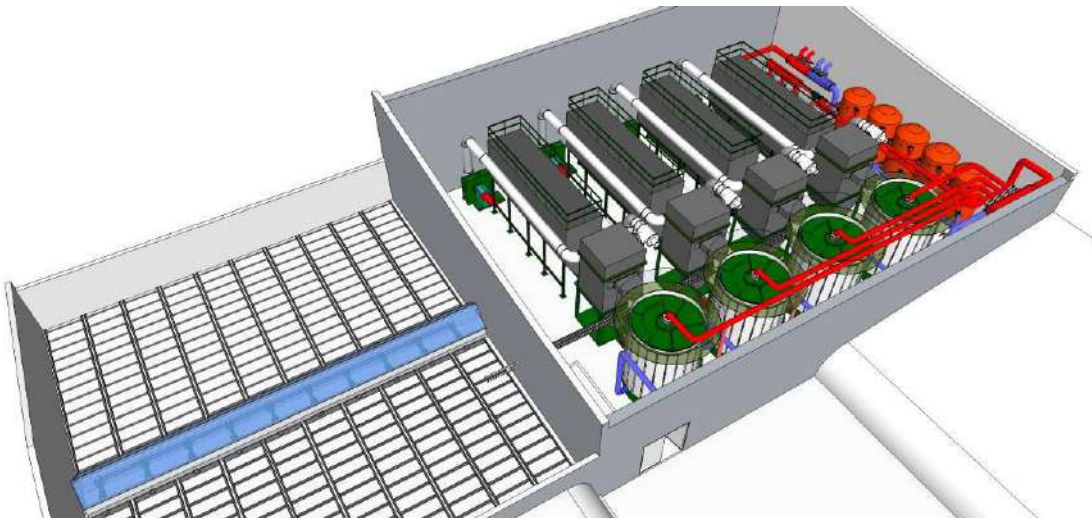


Figura 28. Esquema de la Central térmica.

(Cano Herrador, Valbuena García, Muñoz Martín, Rey Martínez, & Navas Gracia, 2014) [64]



Figura 29. Calderas iniciales. . (Lorenzo, 2017) [107]



Figura 30. Sistema de alimentación a las calderas.
(PREFIERES. Portal de Eficiencia y Rehabilitación, 2016) [79]

El silo, tiene un volumen de 1.800 m³, espacio suficiente para unas 540 toneladas de astilla de granulometría G50 a G100 (ver Figura 31). Se estima un consumo de 7.886 toneladas / año. El silo fue dimensionado para atender una demanda en los periodos más desfavorables de 15 días.



Figura 31. Granulometría de la astilla. (Lorenzo, 2017) [107]

La astilla, con un poder calorífico superior (PCS) de 20 MJ/kg y un poder calorífico inferior (PCI) de 18,7 MJ/kg, procedente de los camiones es introducida al silo mediante dos líneas de llenado neumático con cribadora a una velocidad de carga de 20 toneladas/h, como se aprecia en las Figuras 32 y 33.



Figura 32. Líneas de llenado del silo. (Lorenzo, 2017) [107]



Figura 33. Descarga camión de astilla. (Lorenzo, 2017) [107]

El silo tiene 14 líneas de piso móvil divididas en dos sectores que permiten extraer la astilla por medio de dos tornillos sinfines independientes, llevando la astilla desde el silo hasta la alimentación de las calderas, como se muestra en las Figuras 34 y 35.



Figura 34. Piso móvil del silo.

(Cano Herrador, Valbuena García, Muñoz Martín, Rey Martínez, & Navas Gracia, 2014) [64]



Figura 35. Tornillo sinfín desde el silo a la alimentación de las calderas. (Lorenzo, 2017) [107]

La central térmica cuenta con dos depósitos de inercia de 40.000 litros cada uno conectados en paralelo, que apoyan al sistema en los momentos de arranque y demandas pico puntuales. Estos depósitos se pueden ver en la Figura 36.



Figura 36. Depósitos de inercia. (Lorenzo, 2017) [107]

El sistema de filtrado o depurador de humos consiste en un sistema multiciclónico que separa las partículas hasta $5 \mu\text{m}$ y filtro de mangas, con el que se filtran partículas hasta $0,01 \mu\text{m}$. (Figura 37). Finalmente las cenizas son extraídas mediante tornillos sinfines hasta un contenedor estanco ubicado en el exterior de la Central.



Figura 37. Sistema multiciclónico y filtro de mangas. (Lorenzo, 2017) [107]

El agua caliente generada a 90 °C en cada caldera es impulsada mediante las bombas circuladoras del circuito primario de cada caldera al colector de impulsión y de ahí a los depósitos de inercia del circuito secundario, de donde es enviada, mediante dos grupos de bombeo, a los dos circuitos de distribución independientes. (Figura 38)



Figura 38. Grupos de bombeo del circuito secundario. (Lorenzo, 2017) [107]

En la Figura 39, se muestra el esquema de principio inicial con las tres calderas previstas, los dos depósitos de inercia y los dos circuitos de distribución.

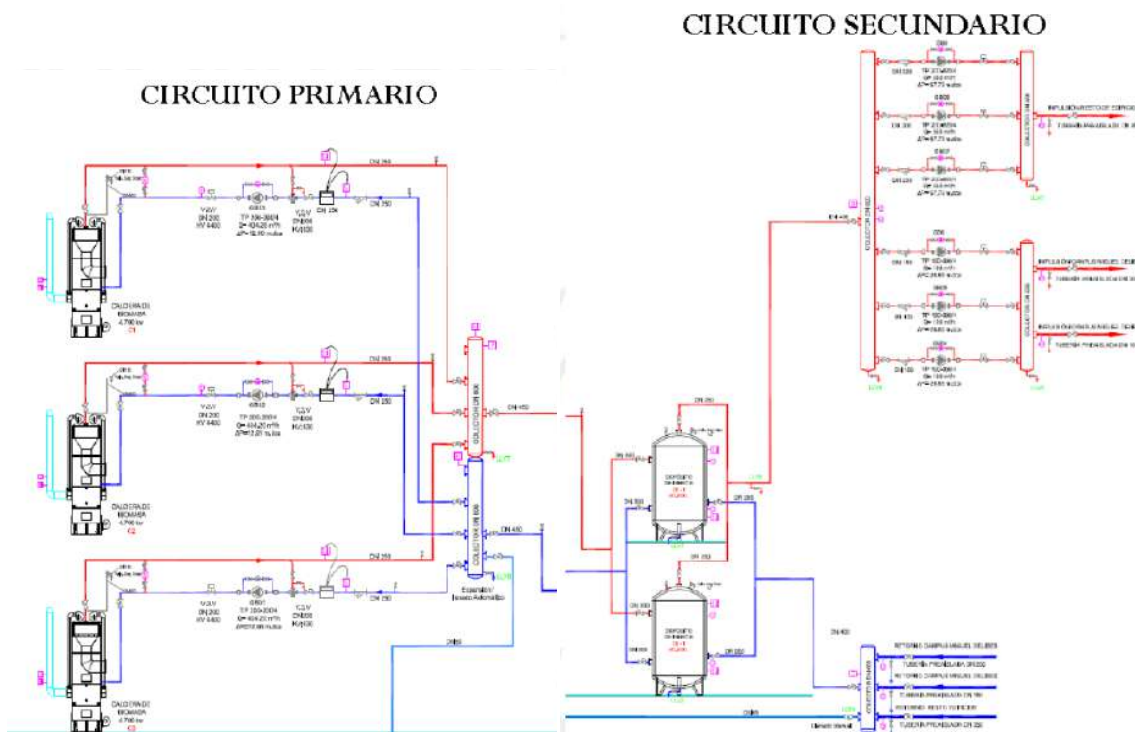


Figura 39. Esquema de principio. (Lorenzo, 2017) [107]

La red ha sido diseñada para una temperatura de ida de 90 °C y retorno de 70 °C. Las tuberías de distribución son de acero pre-aislado con espuma rígida de poliuretano. Utilizándose diámetros de tubería desde los 32 mm a los 350 mm. (Ver Figura 40). En las tuberías se incorporan dos hilos de cobre para la detección de humedad en el aislamiento y por lo tanto la detección de fugas de agua en la red.



Figura 40. Tuberías de acero pre-aislado.
(Cano Herrador, Valbuena García, Muñoz Martín, Rey Martínez, & Navas Gracia, 2014) [64]

La red de distribución se compone de un total de 11.300 m y discurre tanto enterrada como al aire, atravesando el parking de la Universidad e incluso el Río Esgueva, como se aprecia en las fotografías de las Figuras 41 y 42.



Figura 41. Red de distribución enterrada. (Lorenzo, 2017) [107]



Figura 42. Red de distribución aérea.

(Cano Herrador, Valbuena García, Muñoz Martín, Rey Martínez, & Navas Gracia, 2014) [64]

El agua transportado por la red de distribución llega hasta las salas de calderas de cada uno de los edificios donde se ubica la subestación del edificio, compuesta por un intercambiador agua / agua de placas, que además de transmitir el calor al circuito del edificio, independiza el circuito de agua de la red de calor con el circuito de agua del edificio. A este intercambiador se conecta el sistema de calefacción y ACS del edificio, mediante una bomba de circulación en el secundario. El circuito de intercambio se ha diseñado para una temperatura de entrada de 80 °C y de salida de 65 °C. Las subestaciones han sido diseñadas en función de las necesidades térmicas de cada edificio desde 45 kW hasta 3.500 kW.

Existe un contador de energía en el retorno del secundario del intercambiador que mide la energía consumida por cada edificio proveniente de la red de calor, siendo éste el equipo de medida que ha registrado los datos que han servido para la realización de la investigación, además de las facturas de gas natural y gasóleo de las instalaciones antiguas de cada edificio que han permanecido operativas como instalación complementaria de seguridad, para el caso de parada de la red. En las Figuras 43, 44 y 45 se pueden ver el esquema y varias fotografías de subestaciones.

La instalación dispone de un sistema de telegestión mediante fibra óptica que permite el seguimiento en continuo del funcionamiento de cada elemento.

La red óptica se ha dispuesto de forma paralela a la red hidráulica. Cada subestación dispone de un autómata desde el cual se puede acceder a la información propia de cada edificio y que comunica los datos a la central general ubicada en la oficina de control de la Central térmica.

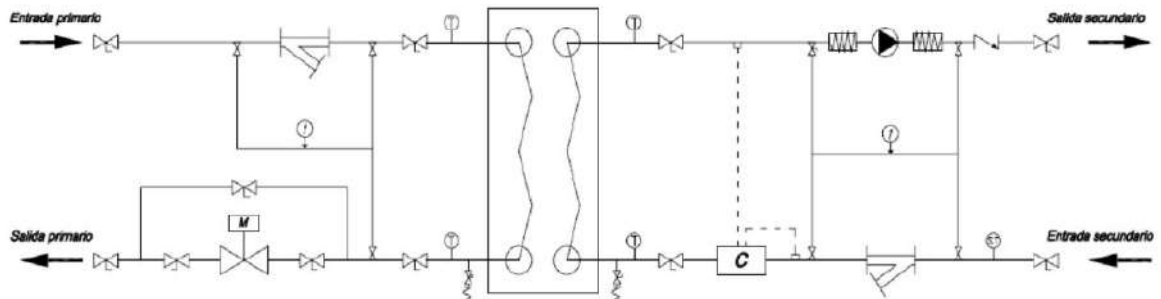


Figura 43. Esquema de la subestación de intercambio en cada edificio. (Lorenzo, 2017) [107]



Figura 44. Subestación de calor. (Lorenzo, 2017) [107]



Figura 45. Subestación de calor. . (Lorenzo, 2017) [107]

3.2. Descripción de los Edificios de la UVA

A continuación se muestra unas tablas que resume las características de los edificios y en el Anexo III, se detalla la descripción de cada uno de los edificios de la Universidad de Valladolid que forman parte de la red de calor y que han sido objeto de la investigación.

En la Tabla 5, se muestra el número de calderas y la potencia de cada una, así como la potencia total y la potencia de la subestación de intercambio con la red de calor de los edificios del Campus Miguel Delibes conectados a la red. Las superficies han sido obtenidas de la Relación de bienes inmuebles de la Universidad de Valladolid (Universidad de Valladolid (UVA)) [108]

Tabla 5. Resumen de características de los Edificios del Campus Miguel Delibes

		Tipo de edificio	Superficie construida (m ²)	Nº Calderas	Cal 1 (kW)	Cal 2 (kW)	Cal 3 (kW)	Cal 4 (kW)	Cal 5 (kW)	Cal 6 (kW)	Caldera ACS (kW)	
D1	APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA	Residencial	17.616	3	479	596					479	
D2	BIBLIOTECA DE APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA	Docente	464	1	41							
D3	EDIFICIO CTTA (Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas)	Docente	5.487	3	116	116	116					
D4	BIBLIOTECA AULARIO MIGUEL DELIBES	Docente	14.541	2	570	570						
D5	EDIFICIO IOBA (Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada)	Docente	4.146	2	41	41						
D6	FACULTAD DE CIENCIAS	Docente	19.137	2	581	581						
D7	EDIFICIO TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA	Docente	20.179	6	326	326	326	326	326	326		
D8	EDIFICIO QUIFIMA (Edificio de Química Fina y Materiales Avanzados)	Docente	5.610	2	233	233						
D9	GIMNASIO DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN	Deportivo	3.673	4	127	127	127	127				
D10	CENTRO DE IDIOMAS	Docente	5.636	1	326							
D11	FACULTAD DE EDUCACIÓN Y TRABAJO SOCIAL	Docente	14.943	2	500	500						
D12	EDIFICIO I+D	Docente	7.412	2	401	401						
DELIBES	TOTAL 12 edificios del campus Miguel Delibes		118.843	30			8.906 (Calefacción)				479 (ACS)	
							Potencia Térmica Total (kW)		9.385			

Capítulo 3. Análisis del Caso en Estudio

		Tipo de edificio	Superficie construida (m ²)	Nº Calderas	TOTAL potencia inicial instalada (kW)	kW de la subestación de intercambio con la red	Año de puesta en marcha
D1	APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA	Residencial	17.616	3	1.554	1.454	1996
D2	BIBLIOTECA DE APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA	Docente	464	1	41	42	1996
D3	EDIFICIO CTTA (Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas)	Docente	5.487	3	348	342	2007
D4	BIBLIOTECA AULARIO MIGUEL DELIBES	Docente	14.541	2	1.140	1.140	2012
D5	EDIFICIO IOBA (Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada)	Docente	4.146	2	81	80	2008
D6	FACULTAD DE CIENCIAS	Docente	19.137	2	1.162	1.120	2009
D7	EDIFICIO TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA	Docente	20.179	6	1.956	1.620	1997
D8	EDIFICIO QUIFIMA (Edificio de Química Fina y Materiales Avanzados)	Docente	5.610	2	466	460	2008
D9	GIMNASIO DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN	Deportivo	3.673	1	508	504	2001
D10	CENTRO DE IDIOMAS	Docente	5.636	1	326	326	1996
D11	FACULTAD DE EDUCACIÓN Y TRABAJO SOCIAL	Docente	14.943	2	1.000	1.000	2001
D12	EDIFICIO I+D	Docente	7.412	2	802	802	2007
DELIBES	TOTAL 12 edificios del campus Miguel Delibes		118.843	27	9.385	8.890	

La potencia inicialmente instalada en calderas era de 9.385 kW, las subestaciones instaladas suma una potencia total de 8.890 kW.

La temporada de calefacción para todos los edificios es desde el 15 de Octubre al 15 de Mayo. Todos los edificios inicialmente funcionaban con gas natural y en función del horario de calefacción se diferencian tres tipologías de edificios:

- Edificios docentes que funcionan de lunes a viernes en horario de calefacción de 6:00 a 22:00 h, con parada en navidades del 24 de diciembre al 8 de enero.
- Edificios residenciales que funcionan toda la semana con un horario de calefacción de 24 h.
- Edificios deportivos, que funcionan toda la semana con un horario de calefacción de 10:00 a 14:00 y de 16:00 a 22:00.

Edificios del Campus Río Esgueva

En la Tabla 6, se muestra el número de calderas y la potencia de cada una, así como la potencia total y la potencia de la subestación de intercambio con la red de calor de los edificios del Campus del Río Esgueva Delibes conectados a la red. Las superficies han sido obtenidas de la Relación de bienes inmuebles de la Universidad de Valladolid (Universidad de Valladolid (UVA)) [108]

Tabla 6. Resumen de características de los Edificios del Campus Río Esgueva

		Tipo de edificio	Nº Salas	Nº calderas	Combustible	Cal 1 (kW)	Cal 2 (kW)	Cal 3 (kW)	Cal 4 (kW)	Caldera ACS (kW)
E1	EDIFICIO DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO	Docente	1	1	Gasóleo	291				
E2	ESCUELA UNIVERSITARIA DE EMPRESARIALES. FACULTAD DE COMERCIO	Docente	1	3	Gasóleo	407	291	291		
E3	FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS	Docente	1	2	Gas	465	465			
E4	ANTIGUA FACULTAD DE CIENCIAS	Docente	2	3	Gasóleo	1.453	930	756		
E5	EDIFICIO ALFOLSO VIII	Residencial	1	3	Gasóleo	2.326	2.326			291
E6	EDIFICIO COLEGIO MAYOR FEMENINO SANTA CRUZ	Residencial	1	2	Gas	358	358			
E7	INSTITUTO DE BIOLOGÍA Y GENÉTICA MOLECULAR (IBGM)	Docente	1	2	Gas	233	233			
E8	FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD	Docente	4	8	Gas	265 + 75	265 + 705	285 + 285	265 + 175	
E13	FACULTAD DE ECONÓMICAS	Docente	1	2	Gas	802	802			
E14	AULARIO CAMPUS ESGUEVA	Docente	1	2	Gasóleo	233	174			
E15	ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (SEDE PASEO DEL CAUCE)	Docente	1	4	Gas	581	581	581	581	
ESGUEVA	TOTAL 11 edificios del campus Río Esgueva		15	32			17.838 (Calefacción)			291 (ACS)
Potencia Térmica Total (kW)								18.129		

Capítulo 3. Análisis del Caso en Estudio

		Tipo de edificio	Superficie construida (m ²)	Combustible	TOTAL potencia (kW)	kW de la subestación de intercambio con la red	Año de puesta en servicio
E1	EDIFICIO DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO	Docente	1.681	Gasóleo	291	291	1940
E2	ESCUELA UNIVERSITARIA DE EMPRESARIALES. FACULTAD DE COMERCIO	Docente	11.160	Gasóleo	989	988	1994
E3	FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS	Docente	21.709	Gas	930	929	1997
E4	ANTIGUA FACULTAD DE CIENCIAS	Docente	32.305	Gasóleo	3.139	2.384	1968
E5	EDIFICIO ALFOLSO VIII	Residencial	20.016	Gasóleo	4.943	3.800	1991
E6	EDIFICIO COLEGIO MAYOR FEMENINO SANTA CRUZ	Residencial	6.660	Gas	716	560	1981
E7	INSTITUTO DE BIOLOGÍA Y GENÉTICA MOLECULAR (IBGM)	Docente	3.919	Gas	466	465	2005
E8	FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD	Docente	29.802	Gas	2.320	2.172	1960
E13	FACULTAD DE ECONÓMICAS	Docente	17.776	Gas	1.604	1.624	1982
E14	AULARIO CAMPUS ESGUEVA	Docente	7.569	Gasóleo	407	425	1986
E15	ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (SEDE PASEO DEL CAUCE)	Docente	18.512	Gas	2.324	2.160	1985
ESGUEVA	TOTAL 11 edificios del campus Río Esgueva		171.109		18.129	15.798	

La potencia inicialmente instalada en calderas era de 18.129 kW, las subestaciones instaladas suma una potencia total de 15.798 kW.

La temporada de calefacción para todos los edificios, al igual que en el Campus Miguel Delibes es desde el 15 de Octubre al 15 de Mayo.

En función del horario de calefacción se diferencian dos tipologías de edificios:

- Edificios docentes que funcionan de lunes a viernes en horario de calefacción de 6:00 a 22:00 h, con parada en navidades del 24 de diciembre al 8 de enero.
- Edificios residenciales que funcionan toda la semana con un horario de calefacción de 24 h.

3.3. Datos de partida

3.3.1. Variables climáticas

Las variables climáticas, susceptibles de ser los parámetros independientes que modelasen el consumo esperado de cada edificio, se obtuvieron cada 30 minutos de los últimos seis años y medio de una estación climática ubicada en Zamadueñas (Valladolid) (InfoRiego) [98], desde octubre de 2012 hasta septiembre de 2018, correspondientes a seis temporadas de calefacción, dos anteriores a la construcción de la red de calor y tres posteriores a la ejecución del district heating:

- Octubre 2012 hasta mayo 2013. Temporada previa a la implantación de la red
- Octubre 2013 hasta mayo 2014. Temporada previa a la implantación de la red
- Octubre 2014 hasta mayo 2015. Temporada de implantación de la red
- Octubre 2015 hasta mayo 2016. Temporada posterior a la implantación de la red
- Octubre 2016 hasta mayo 2017. Temporada posterior a la implantación de la red
- Octubre 2017 hasta mayo 2018. Temporada posterior a la implantación de la red.

La estación de recogida de datos es propiedad del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y se encuentra situada a 8 km del Centro de Valladolid. En la Figura 46, se puede observar dicha estación meteorológica.



Figura 46. Estación meteorológica en Zamadueñas [98]

Las variables climáticas obtenidas fueron las relativas a:

- Temperaturas: medias, medias diurnas, máximas y mínimas.
- Grados día: base 15 y base 20.
- Humedades relativas: medias, diurnas, máximas y mínimas.
- Radiación: Intensidad de radiación
- Velocidades del viento: medias, diurnas, nocturnas y máximas.
- Recorrido del viento.
- Precipitación acumulada.
- Horas de sol.

En el caso de los Grados día se empleó la expresión de la Ecuación 13:

$$GD \text{ Base mes} = \sum_{i=1}^n (Base - T_i) \quad (\text{Ecuación 13})$$

Siendo:

Base = 15°C ó 18°C

Ti = Temperaturas medidas registradas cada 30 minutos menores a 15°C ó a 18°C

n = Número de intervalos de 30 minutos existentes en cada mes

n = Número de días de cada mes (*)

(*) Los grados día fueron calculados de dos formas con datos tomados cada 30 minutos y con datos medios diarios.

Los Grados día son valores que expresan diferencias de temperatura acumuladas; se calculan de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 15927-6: 2009 (AENOR. Asociación Española de Normalización, 2009)[99]. Su cálculo se basa en el concepto de temperatura base, a partir del cual el edificio necesita calefacción. Esta variable se ha utilizado en numerosos estudios como por ejemplo en: (Verbai, Lakatos, & Kalmár, 2014) [88], (Golden, Woodbury, Carpenter, & O'Neill, 2017) [89]. (Meng & Mourshed, 2017) [90], (Atalla, Gualdi, & Lanza, 2018) [91] y (De Rosa, Bianco, Scarpa, & Tagliafico, 2014) [92]

También se calcularon los Grados día tomando como referencia en lugar de las temperaturas medias de cada treinta minutos, las temperaturas medias diarias, aunque este cálculo arroja un mayor error en la determinación de los Grados día. Los datos se muestran en la Tabla 7 y Figura 47. A continuación se presentan, las temperaturas, humedades, velocidades, recorrido del viento y precipitaciones, que fueron procesadas para obtener promedios, máximos, mínimos y acumulados mensuales, los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 7, 8, 9, 10 y 11.

Tabla 7. Datos climáticos utilizados en la investigación. Grados día

	GD15 (0,5h)	GD 20 (0,5h)	GD15 (día)	GD 20 (día)
oct-12	132,46	257,91	112,07	248,81
nov-12	230,75	379,14	229,14	379,14
dic-12	306,53	461,53	306,57	461,57
ene-13	323,69	478,69	323,68	478,68
feb-13	308,46	448,46	308,49	448,49
mar-13	244,21	399,01	244,01	399,01
abr-13	184,10	318,85	167,60	315,24
may-13	146,97	282,21	126,36	280,27
oct-13	91,51	214,89	72,50	212,23
nov-13	249,23	396,82	247,15	396,83
dic-13	380,33	535,33	380,33	535,33
ene-14	281,21	436,20	281,20	436,20
feb-14	267,82	407,82	267,81	407,81
mar-14	206,36	349,44	193,95	348,95
abr-14	102,66	219,39	69,37	208,88
may-14	89,32	200,72	50,64	183,90
oct-14	63,33	171,73	22,68	154,81
nov-14	175,40	321,67	171,67	321,67
dic-14	347,23	502,23	347,24	502,24
ene-15	411,70	566,70	411,68	566,68
feb-15	299,27	439,24	299,22	439,22
mar-15	224,62	363,33	205,55	360,55
abr-15	120,29	247,78	96,73	244,73
may-15	65,05	165,97	31,24	138,92
oct-15	97,04	225,08	73,45	222,62
nov-15	208,36	351,64	200,93	350,93
dic-15	300,09	454,79	299,81	454,81
ene-16	271,93	426,74	271,76	426,76
feb-16	266,36	411,35	266,33	411,33
mar-16	276,34	429,56	274,57	429,57
abr-16	181,04	326,98	176,98	326,98
may-16	99,34	222,01	67,12	213,46
oct-16	97,34	217,30	53,51	202,11
nov-16	245,69	393,06	242,95	392,95
dic-16	337,25	492,25	337,22	492,22
ene-17	386,98	541,98	387,00	542,00
feb-17	226,76	365,14	225,13	365,13
mar-17	203,17	338,84	179,51	334,51
abr-17	129,72	240,18	79,64	222,69
may-17	54,86	144,29	25,53	111,78
oct-17	92,31	197,68	46,09	164,47
nov-17	271,60	417,33	267,29	417,29
dic-17	341,26	496,26	341,27	496,27
ene-18	327,94	482,94	327,96	482,96
feb-18	321,27	461,22	321,20	461,20
mar-18	255,02	409,12	254,12	409,12
abr-18	143,31	271,81	123,88	265,61
may-18	78,41	193,71	46,83	185,14

Tabla 8. Datos climáticos utilizados en la investigación. Temperaturas

	T med (°C)	T media día (°C)	T max (°C)	T min (°C)
oct-12	11,97	14,79	18,53	6,22
nov-12	7,36	9,14	12,30	3,05
dic-12	5,11	6,47	9,38	1,29
ene-13	4,56	5,91	9,02	0,69
feb-13	3,98	6,26	9,81	-0,85
mar-13	7,13	9,09	12,17	2,94
abr-13	9,49	12,26	15,36	3,77
may-13	10,96	14,30	17,46	4,75
oct-13	13,15	15,69	19,18	8,28
nov-13	6,77	8,70	11,83	2,24
dic-13	2,73	4,51	8,40	-1,56
ene-14	5,93	7,11	10,07	2,32
feb-14	5,43	6,98	10,05	1,34
mar-14	8,74	11,97	15,82	2,23
abr-14	13,04	16,54	19,96	6,39
may-14	14,07	18,05	21,54	6,64
oct-14	15,01	18,56	22,84	9,38
nov-14	9,28	10,95	13,56	5,26
dic-14	3,80	5,20	8,15	0,38
ene-15	1,72	3,63	7,34	-2,38
feb-15	4,31	6,48	9,74	-0,27
mar-15	8,37	11,99	16,04	1,31
abr-15	11,84	15,11	18,61	5,62
may-15	15,69	20,10	23,40	8,11
oct-15	12,82	15,67	19,10	7,50
nov-15	8,30	10,33	14,00	4,16
dic-15	5,33	7,10	11,21	1,20
ene-16	6,23	7,45	10,33	2,63
feb-16	5,82	7,90	11,01	1,30
mar-16	6,14	9,25	12,83	0,20
abr-16	9,10	12,01	15,40	3,83
may-16	13,11	16,73	20,04	6,63
oct-16	13,40	17,24	21,78	7,14
nov-16	6,90	9,23	12,44	2,23
dic-16	4,12	5,87	9,53	0,57
ene-17	2,52	5,41	9,88	-2,83
feb-17	6,96	9,25	12,59	2,19
mar-17	9,21	12,81	16,71	2,59
abr-17	12,58	17,38	21,07	3,83
may-17	16,69	20,71	24,49	9,02
oct-17	14,71	14,71	24,51	6,71
nov-17	6,09	6,09	14,38	-0,28
dic-17	3,99	3,99	9,18	-0,44
ene-18	4,42	4,42	8,99	0,66
feb-18	3,53	3,53	9,79	-1,96
mar-18	6,80	6,80	11,48	2,74
abr-18	11,15	11,15	17,30	5,73
may-18	14,03	14,03	20,59	7,82

Tabla 9. Datos climáticos utilizados en la investigación. Humedad Relativa

	HR (%)	HR media día (%)	HR max (%)	HR min (%)
oct-12	75,30	64,82	94,62	46,12
nov-12	84,15	78,04	96,65	61,93
dic-12	87,88	83,18	97,36	68,94
ene-13	87,09	82,71	97,38	69,38
feb-13	79,09	70,23	95,76	52,73
mar-13	80,13	73,10	95,00	56,22
abr-13	70,79	59,95	91,02	44,71
may-13	69,64	55,28	94,26	38,92
oct-13	79,39	68,85	95,82	50,77
nov-13	79,66	72,26	94,44	58,52
dic-13	87,24	81,39	97,49	65,35
ene-14	86,45	82,21	96,65	68,32
feb-14	81,52	75,46	94,92	58,78
mar-14	65,19	53,16	89,93	36,44
abr-14	67,37	53,71	92,00	36,67
may-14	57,11	41,11	88,56	26,64
oct-14	75,87	61,72	96,99	42,50
nov-14	86,38	80,20	97,49	67,12
dic-14	89,45	85,03	98,22	73,06
ene-15	90,92	84,84	99,37	71,51
feb-15	78,56	69,66	94,83	53,62
mar-15	67,00	54,60	92,62	38,61
abr-15	69,64	56,84	93,55	40,30
may-15	61,46	45,05	90,99	31,75
oct-15	75,43	63,79	95,26	46,95
nov-15	89,45	83,12	99,51	67,08
dic-15	94,18	89,57	100,00	75,01
ene-16	94,73	91,16	99,99	78,26
feb-16	85,39	77,10	98,62	60,11
mar-16	78,33	66,30	99,02	46,99
abr-16	80,64	68,62	99,78	49,42
may-16	73,63	57,44	98,63	40,99
oct-16	71,40	57,19	95,75	38,38
nov-16	86,41	77,32	98,88	62,31
dic-16	93,56	88,84	99,20	75,69
ene-17	84,69	73,44	99,51	54,44
feb-17	79,67	69,90	97,06	52,21
mar-17	72,22	58,33	98,67	37,58
abr-17	51,11	35,13	85,81	22,46
may-17	64,45	47,49	97,72	30,62
oct-17	56,92	56,92	87,15	26,93
nov-17	77,16	77,16	99,36	42,97
dic-17	88,22	88,22	98,75	67,84
ene-18	90,74	90,73	98,63	72,80
feb-18	81,14	81,14	100,00	51,26
mar-18	85,17	85,17	99,91	58,51
abr-18	82,87	82,87	100,00	50,20
may-18	77,49	77,49	99,83	45,02

Tabla 10. Datos climáticos utilizados en la investigación. Velocidad del viento

	V (m/s)	V día (m/s)	V noche (m/s)	V max (m/s)
oct-12	1,37	1,87	0,87	5,68
nov-12	1,61	2,04	1,19	6,07
dic-12	2,05	2,44	1,65	6,21
ene-13	2,48	2,81	2,14	7,12
feb-13	2,25	2,79	1,70	7,26
mar-13	3,02	3,73	2,32	9,20
abr-13	2,77	3,39	2,14	8,42
may-13	1,80	2,25	1,35	6,17
oct-13	1,48	2,00	0,95	5,73
nov-13	2,15	2,62	1,72	7,17
dic-13	1,89	2,12	1,67	5,77
ene-14	2,76	3,22	2,31	7,80
feb-14	3,56	4,28	2,84	9,72
mar-14	2,51	3,10	1,91	7,89
abr-14	2,12	2,71	1,55	7,23
may-14	2,19	2,75	1,63	7,31
oct-14	1,39	1,79	1,45	5,25
nov-14	1,94	2,32	0,97	6,39
dic-14	1,05	1,26	0,93	4,41
ene-15	1,55	1,93	1,22	5,33
feb-15	2,61	3,13	2,12	7,71
mar-15	1,73	2,12	1,34	6,26
abr-15	1,63	2,07	1,21	6,26
may-15	1,81	2,23	1,26	6,88
oct-15	1,41	1,72	1,11	5,64
nov-15	1,13	1,25	1,12	4,31
dic-15	0,81	0,97	0,67	3,53
ene-16	2,21	2,53	1,89	6,82
feb-16	2,84	3,30	2,41	8,02
mar-16	2,03	2,66	1,44	7,14
abr-16	1,91	2,67	1,18	7,49
may-16	1,57	2,13	1,02	5,79
oct-16	0,87	1,08	0,67	4,22
nov-16	1,35	1,61	1,24	3,95
dic-16	0,87	0,99	0,77	1,81
ene-17	1,01	1,31	0,74	2,53
feb-17	2,52	2,79	2,27	4,48
mar-17	2,14	2,69	1,62	4,15
abr-17	2,11	2,53	1,69	3,86
may-17	1,61	2,07	1,16	4,92
oct-17	1,22	1,50	1,21	5,22
nov-17	1,07	1,42	0,69	4,89
dic-17	1,96	2,28	1,66	4,94
ene-18	1,89	2,23	1,58	3,73
feb-18	1,88	2,42	1,37	6,32
mar-18	3,66	4,38	2,99	10,33
abr-18	2,19	2,77	1,63	7,49
may-18	1,67	2,00	1,35	6,46

Tabla 11. Datos climáticos. Recorrido, precipitación, horas de sol y radiación

	Recorrido viento (km)	Precipitación acumulada (mm)	Horas de sol	Radiación (W/m ²)
oct-12	118,32	72,60	8,80	125,34
nov-12	139,40	60,40	6,45	73,14
dic-12	176,66	21,40	5,35	53,15
ene-13	213,92	36,80	5,87	60,12
feb-13	193,99	31,20	8,28	92,29
mar-13	261,08	117,96	9,07	112,62
abr-13	239,02	28,60	11,00	187,67
may-13	155,84	27,99	11,93	228,11
oct-13	127,66	23,20	8,01	117,44
nov-13	185,72	3,20	6,66	81,20
dic-13	163,68	1,80	5,54	62,62
ene-14	238,67	22,80	5,27	56,16
feb-14	307,51	48,16	7,10	93,08
mar-14	216,60	11,00	9,69	174,56
abr-14	182,88	22,40	10,69	209,40
may-14	188,84	18,80	12,41	281,26
oct-14	119,81	37,00	8,54	130,57
nov-14	167,33	71,40	5,66	63,15
dic-14	90,74	17,20	5,46	55,53
ene-15	134,24	28,00	6,21	74,94
feb-15	225,47	16,40	7,66	109,00
mar-15	149,70	16,80	9,45	171,80
abr-15	140,67	66,00	10,72	212,32
may-15	156,35	19,80	12,44	302,81
oct-15	121,37	54,20	8,17	134,16
nov-15	98,00	46,80	6,32	79,71
dic-15	70,34	18,40	5,22	55,03
ene-16	190,85	116,00	5,45	57,01
feb-16	245,64	38,80	7,13	106,38
mar-16	175,29	32,20	9,52	166,79
abr-16	164,93	99,40	10,42	208,60
may-16	135,35	47,46	11,78	253,32
oct-16	74,65	46,20	8,60	149,04
nov-16	116,31	48,87	6,20	80,38
dic-16	75,56	12,63	5,84	61,61
ene-17	87,43	10,38	6,59	78,91
feb-17	217,31	39,99	7,51	118,25
mar-17	184,88	6,00	9,42	165,47
abr-17	182,50	3,80	11,54	271,82
may-17	139,29	42,00	11,89	262,36
oct-17	105,13	7,20	9,06	160,79
nov-17	92,33	17,60	7,54	105,79
dic-17	169,67	26,26	5,81	63,91
ene-18	163,66	51,42	6,16	68,53
feb-18	162,25	37,64	7,75	118,13
mar-18	316,42	111,60	8,93	154,29
abr-18	188,87	69,20	10,53	212,70
may-18	144,48	80,40	11,72	270,36

A continuación se muestran las gráficas de los datos tabulados.

En la Figura 47, se observa como los grados día calculados a partir de las temperaturas medias diarias son ligeramente inferiores a los grados día calculados a partir de las temperaturas cada media hora.

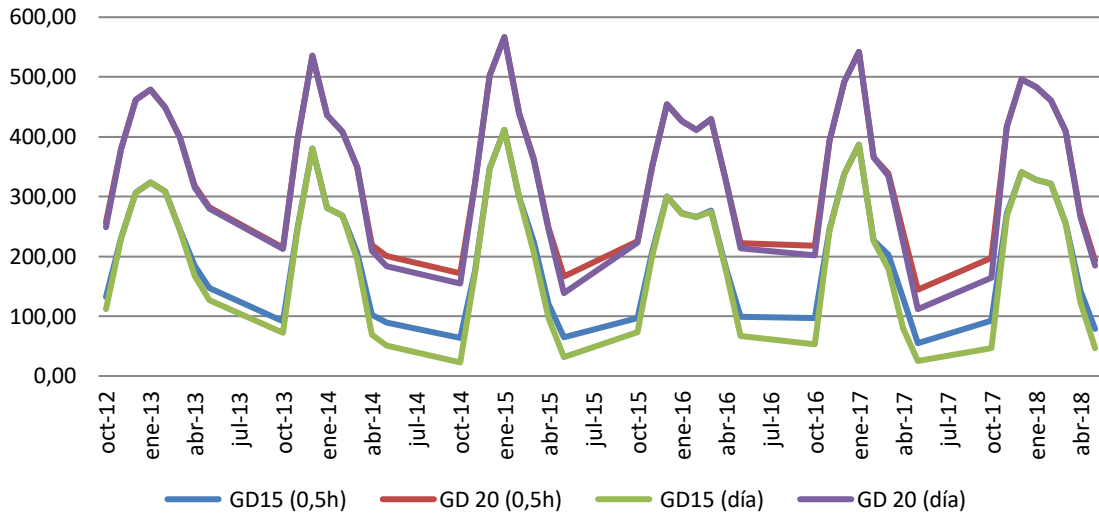


Figura 47. Grados día en base 15 y 20.

La Figura 48, representa las temperaturas medias mensuales, medias diarias, máximas y mínimas.

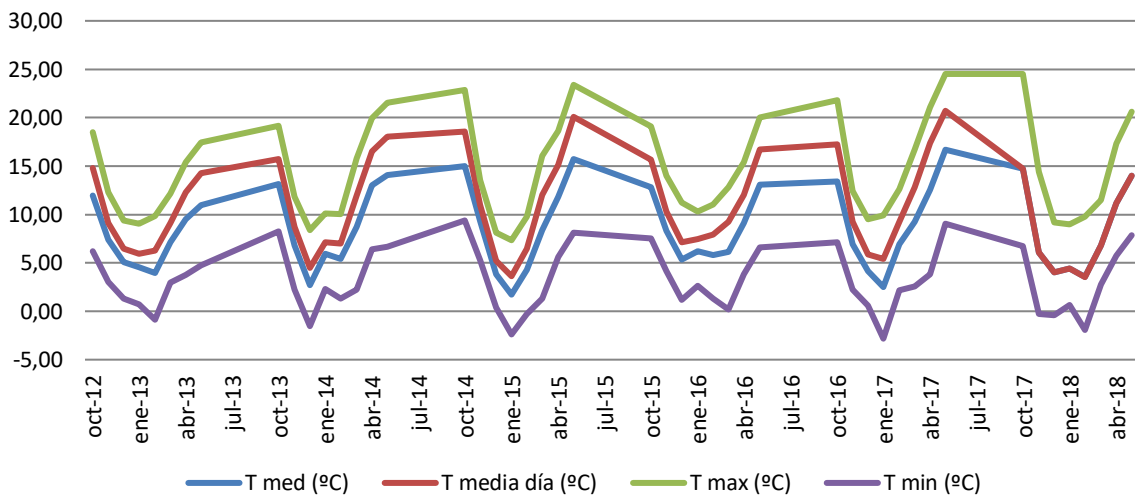


Figura 48. Temperaturas (°C)

La Figura 49, muestra la humedad relativa media mensuales, media diaria, máxima y mínima.

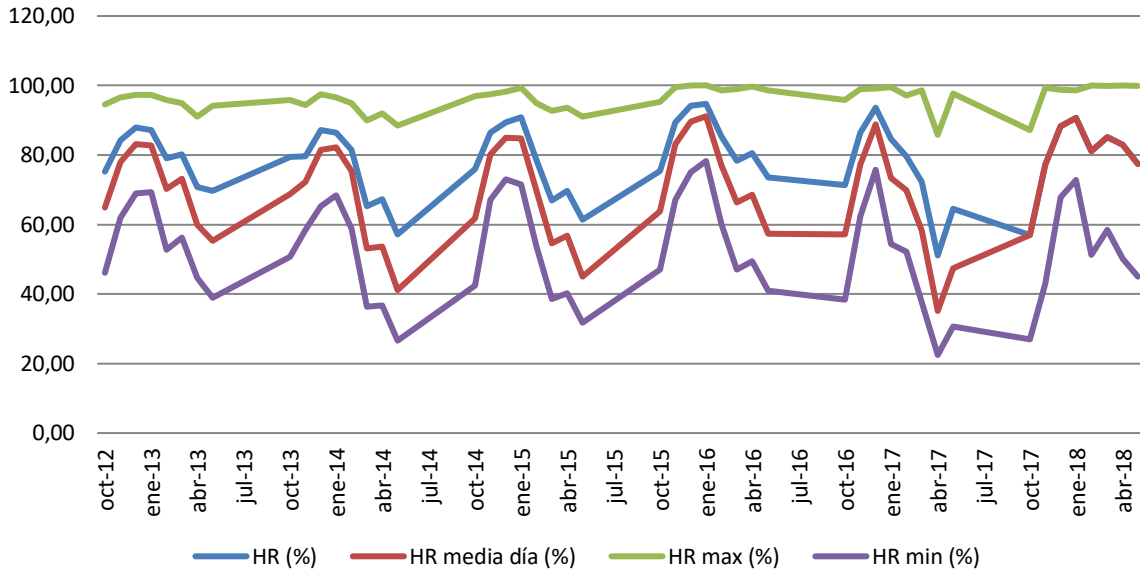


Figura 49. Humedad Relativa (%)

La Figura 50, expone las velocidades del viento medias mensuales, medias diurnas, medias nocturnas y máximas.

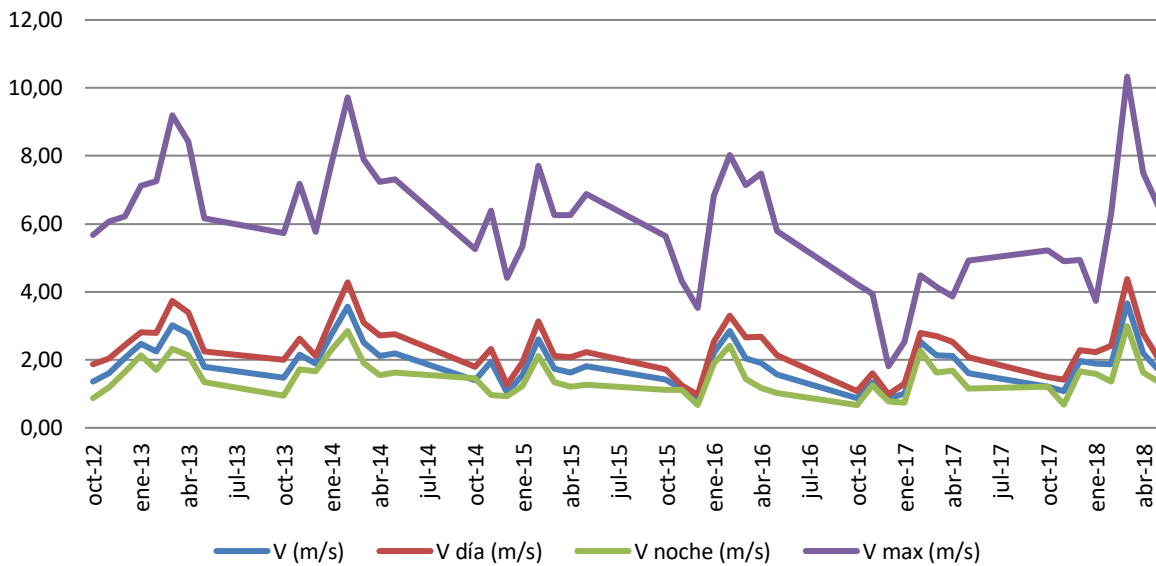


Figura 50. Velocidad del viento (m/s)

En la Figura 51, se grafican el recorrido del viento en km y la Radiación media mensual en W/m^2 .

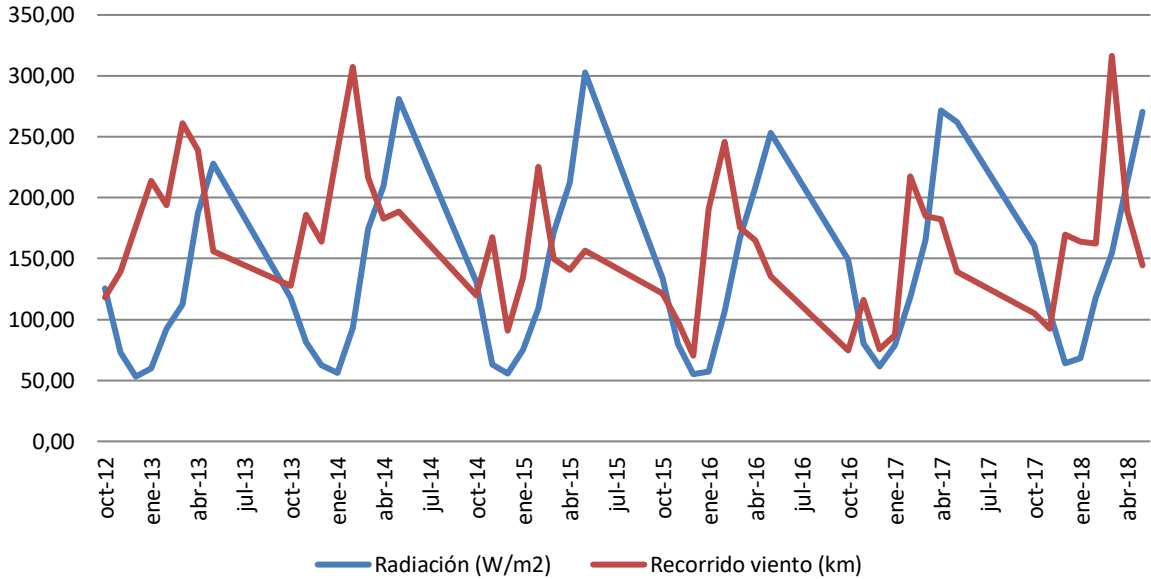


Figura 51. Recorrido del viento (km) y Radiación (W/m^2)

La Figura 52, muestra la precipitación acumulada mensual (mm) y las horas de sol mensuales (h).

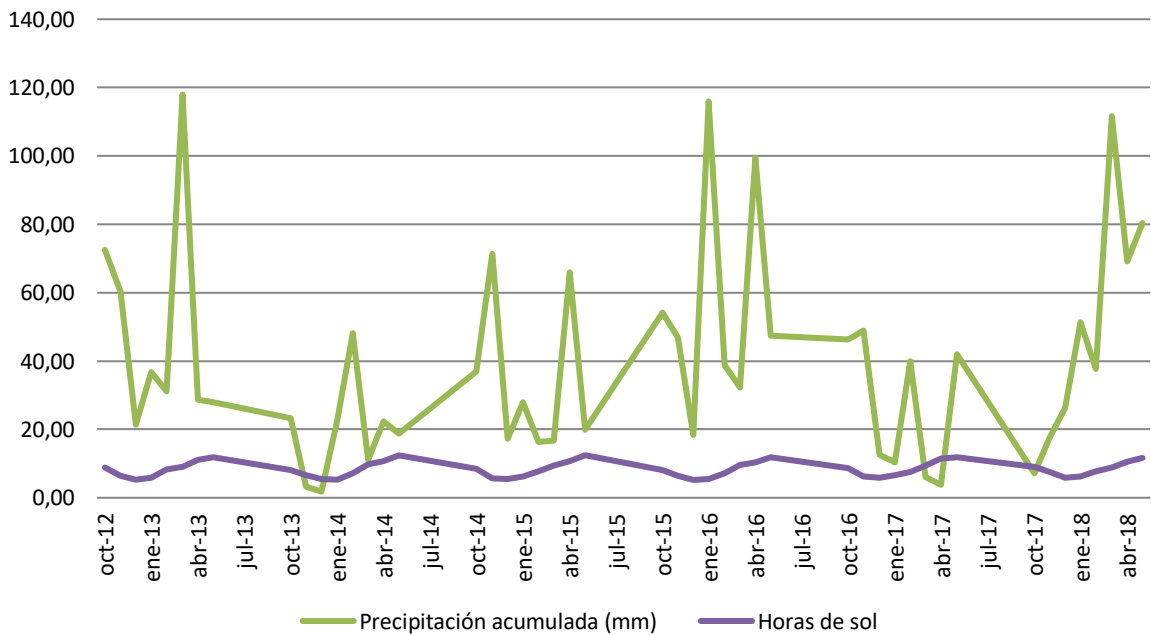


Figura 52. Precipitación acumulada (mm) y Horas de sol

3.3.2. Consumos térmicos anteriores y posteriores a la red

Se recopilaron los consumos térmicos mensuales desde octubre de 2012 a mayo de 2018, correspondientes a los doce edificios del Campus Miguel Delibes y a los once edificios del Campus del Río Esgueva, estos datos fueron facilitados por la Universidad de Valladolid. La red de calor fue construida en el año 2015, por lo que las temporadas de calefacción de octubre de 2012 a mayo de 2013 y de octubre de 2013 a mayo de 2014, se consideraron como los periodos de referencia anteriores a la red y las temporadas octubre 2015 – mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017 – mayo 2018, como periodos posteriores.

La temporada desde octubre de 2014 hasta mayo de 2015, se considera periodo de puesta en marcha de la red de calor y los datos no han sido tenidos en cuenta.

En las siguientes tablas se muestran los datos de consumos facilitados.

Las Tablas 12, 13, 14, son las relativas a los consumos de los edificios del Campus Miguel Delibes, la Tabla 12 muestra los consumos de los combustibles fósiles, en este caso, todos los consumos se deben al gas natural, la Tabla 13, recoge los consumos de biomasa y la Tabla 14 agrupa el consumo térmico total de los edificios del Campus en kWh.

Las tablas 15, 16, 17, son las relativas a los consumos de los edificios del Campus Río Esgueva, la Tabla 15 muestra los consumos de los combustibles fósiles, debidos al consumo de gas natural y gasóleo, la Tabla 16, recoge los consumos de biomasa y la Tabla 17 agrupa el consumo térmico total de los edificios del Campus en kWh.

Capítulo 3. Análisis del Caso en Estudio

Tabla 12. Consumo de combustibles fósiles de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh)

	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
oct-12	52.823	2.973	15.679	38.678	5.298	65.093	75.227	28.190	16.335	9.525	15.176	20.755
nov-12	220.904	8.215	34.701	195.712	12.464	145.750	163.403	44.053	31.692	24.605	121.937	39.191
dic-12	228.313	11.245	47.474	176.685	16.625	194.289	217.741	58.473	42.168	51.330	93.881	52.395
ene-13	239.241	12.064	61.790	191.773	17.744	207.050	231.815	61.638	44.716	43.452	112.357	55.517
feb-13	273.273	11.615	51.895	201.662	17.029	198.500	222.100	71.642	42.732	53.877	146.609	53.024
mar-13	210.397	9.500	35.453	143.416	13.786	160.192	178.875	64.884	34.135	36.141	90.810	42.283
abr-13	219.730	6.534	33.758	118.693	9.765	114.486	128.571	45.407	25.105	23.334	67.242	31.248
may-13	135.157	5.196	16.401	57.071	7.775	91.192	102.436	20.377	20.021	5.546	35.376	24.925
oct-13	35.931	3.398	9.887	51.998	5.004	58.407	65.408	21.697	12.629	9.525	7.360	15.683
nov-13	0	8.280	32.104	103.055	12.654	149.340	168.407	32.562	33.422	24.605	86.849	41.737
dic-13	322.634	14.205	64.828	225.143	20.880	243.583	272.681	76.564	52.571	51.330	128.882	65.261
ene-14	320.896	11.133	59.681	153.040	16.068	186.405	207.919	67.774	39.501	43.452	140.938	48.884
feb-14	307.368	9.351	53.522	201.660	14.051	165.006	185.496	75.981	36.368	53.877	160.288	45.304
mar-14	165.884	6.636	20.039	116.269	10.258	121.453	137.241	50.114	27.453	36.141	92.685	34.339
abr-14	156.449	3.899	25.860	53.303	5.701	66.396	74.250	20.141	14.255	23.334	53.233	17.680
may-14	28.883	3.318	9.813	32.040	4.886	57.028	63.862	18.148	12.328	5.546	2.142	15.308
oct-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dic-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ene-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
feb-16	86.660	7.347	24.492	46.776	16.962	101.645	60.146	20.417	10.984	13.866	76.228	12.177
mar-16	12.299	24	666	14.117	3.621	15.254	26.749	3.564	1.364	520	6.040	2.793
abr-16	325	422	2.038	714	1.356	2.159	2.760	211	1.242	114	284	0
may-16	195	0	0	16	1.510	41	170	0	81	0	0	0
oct-16	23.450	160	3.032	11.633	5.921	1.656	2.264	7.817	3.328	864	12.513	1.800
nov-16	9.577	672	11.777	1.264	88	9.745	496	10.737	232	288	3.736	0
dic-16	2.480	760	10.865	5.785	16	536	536	1.536	160	16	2.232	72
ene-17	3.600	0	0	88	56	1.408	3.984	576	0	8	10.209	128
feb-17	88	584	3.368	136	1.120	5.753	760	328	0	8	64	63
mar-17	1.184	448	1.704	0	32	0	536	272	208	344	0	265
abr-17	360	0	1.216	536	8	96	0	144	0	0	568	0
may-17	560	1.544	856	88	408	832	0	0	0	32	0	368
oct-17	15.266	8	0	56	4.889	0	384	0	2.160	0	0	0
nov-17	544	40	0	1.080	40	3.312	1.000	152	144	0	416	88
dic-17	1.872	0	0	1.080	0	0	2.088	328	128	24	2.032	0
ene-18	1.064	0	0	0	0	81	688	184	0	96	560	8
feb-18	848	0	0	512	56	0	3.376	912	0	40	0	0
mar-18	0	0	0	912	80	0	4.304	1.512	624	272	2.544	888
abr-18	0	0	0	0	0	0	384	168	56	136	440	112
may-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 13. Consumo de biomasa de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh)

	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
oct-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dic-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ene-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
feb-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abr-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
may-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oct-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dic-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ene-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
feb-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abr-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
may-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oct-15	34.650	810	0	30.770	4.908	32.180	22.220	8.364	10.847	4.183	8.810	6.590
nov-15	162.230	2.643	28.683	117.720	16.749	128.080	128.080	48.422	35.070	26.851	71.160	36.550
dic-15	192.680	11.959	50.191	91.520	16.244	147.210	124.770	52.355	21.527	32.026	68.390	34.820
ene-16	182.730	6.666	38.231	116.430	10.727	172.470	163.370	56.577	27.599	33.481	77.420	39.180
feb-16	205.420	5.112	43.938	149.030	13.214	247.290	237.190	73.275	44.179	40.181	111.170	46.300
mar-16	183.100	5.215	41.109	118.560	15.045	211.400	173.610	61.801	35.187	39.467	80.530	41.970
abr-16	140.490	3.519	22.617	90.660	12.416	148.810	137.130	42.874	28.354	29.343	60.370	27.410
may-16	50.100	405	7.268	30.710	6.416	28.010	25.020	8.549	7.634	6.620	11.790	6.310
oct-16	36.970	5	679	16.490	5.198	19.540	31.170	0	6.839	5.397	10.900	5.800
nov-16	175.520	4.391	23.675	137.030	9.555	181.180	175.080	53.081	43.045	30.495	97.720	35.820
dic-16	230.410	6.637	34.750	110.200	17.894	206.960	145.300	83.456	37.469	42.230	61.860	39.800
ene-17	241.460	7.617	47.454	231.590	20.262	272.070	254.280	95.488	55.750	51.725	133.300	47.420
feb-17	181.370	6.403	29.736	137.800	12.008	185.560	181.790	66.543	42.290	35.279	88.590	33.330
mar-17	142.890	7.173	24.475	104.060	12.183	147.550	150.360	61.320	34.922	30.031	69.390	32.930
abr-17	56.230	3.584	15.456	60.510	8.722	64.110	55.650	28.029	8.288	12.121	31.820	12.700
may-17	37.840	22	11.266	22.340	7.177	21.230	14.320	9.028	1.706	4.079	9.030	1.950
oct-17	27.790	2	4.697	9.650	2.131	10.750	9.500	5.806	2.406	3.499	5.700	3.530
nov-17	160.230	4.173	37.870	132.050	11.944	144.720	123.350	64.210	36.958	27.035	71.140	33.700
dic-17	249.300	10.407	48.468	158.000	15.343	222.510	170.930	111.222	53.691	41.827	122.790	46.710
ene-18	241.600	9.738	48.828	188.850	14.960	275.170	188.200	90.885	45.982	43.660	122.850	51.520
feb-18	245.330	10.737	48.728	197.930	19.500	293.190	241.850	94.399	43.599	44.721	137.100	59.290
mar-18	208.040	7.939	28.432	160.000	15.575	219.610	213.010	76.142	50.667	38.651	108.100	51.330
abr-18	132.930	5.172	19.765	70.510	13.055	102.000	98.630	36.304	23.951	23.342	55.140	29.150
may-18	53.590	7	13.337	34.320	13.273	29.180	23.570	15.896	7.171	6.241	15.860	5.570

Capítulo 3. Análisis del Caso en Estudio

Tabla 14. Consumo total térmico de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh)

	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa	GN+Biomasa
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
oct-12	52.823	2.973	15.679	38.678	5.298	65.093	75.227	28.190	16.335	9.525	15.176	20.755
nov-12	220.904	8.215	34.701	195.712	12.464	145.750	163.403	44.053	31.692	24.605	121.937	39.191
dic-12	228.313	11.245	47.474	176.685	16.625	194.289	217.741	58.473	42.168	51.330	93.881	52.395
ene-13	239.241	12.064	61.790	191.773	17.744	207.050	231.815	61.638	44.716	43.452	112.357	55.517
feb-13	273.273	11.615	51.895	201.662	17.029	198.500	222.100	71.642	42.732	53.877	146.609	53.024
mar-13	210.397	9.500	35.453	143.416	13.786	160.192	178.875	64.884	34.135	36.141	90.810	42.283
abr-13	219.730	6.534	33.758	118.693	9.765	114.486	128.571	45.407	25.105	23.334	67.242	31.248
may-13	135.157	5.196	16.401	57.071	7.775	91.192	102.436	20.377	20.021	5.546	35.376	24.925
oct-13	35.931	3.398	9.887	51.998	5.004	58.407	65.408	21.697	12.629	9.525	7.360	15.683
nov-13	0	8.280	32.104	103.055	12.654	149.340	168.407	32.562	33.422	24.605	86.849	41.737
dic-13	322.634	14.205	64.828	225.143	20.880	243.583	272.681	76.564	52.571	51.330	128.882	65.261
ene-14	320.896	11.133	59.681	153.040	16.068	186.405	207.919	67.774	39.501	43.452	140.938	48.884
feb-14	307.368	9.351	53.522	201.660	14.051	165.006	185.496	75.981	36.368	53.877	160.288	45.304
mar-14	165.884	6.636	20.039	116.269	10.258	121.453	137.241	50.114	27.453	36.141	92.685	34.339
abr-14	156.449	3.899	25.860	53.303	5.701	66.396	74.250	20.141	14.255	23.334	53.233	17.680
may-14	28.883	3.318	9.813	32.040	4.886	57.028	63.862	18.148	12.328	5.546	2.142	15.308
oct-15	34.650	810	0	30.770	4.908	32.180	22.220	8.364	10.847	4.183	8.810	6.590
nov-15	162.230	2.643	28.683	117.720	16.749	128.080	128.080	48.422	35.070	26.851	71.160	36.550
dic-15	192.680	11.959	50.191	91.520	16.244	147.210	124.770	52.355	21.527	32.026	68.390	34.820
ene-16	182.730	6.666	38.231	116.430	10.727	172.470	163.370	56.577	27.599	33.481	77.420	39.180
feb-16	292.080	12.459	68.430	195.806	30.176	348.935	297.336	93.692	55.163	54.047	187.398	58.477
mar-16	195.399	5.239	41.775	132.677	18.666	226.654	200.359	65.365	36.551	39.987	86.570	44.763
abr-16	140.815	3.941	24.655	91.374	13.772	150.969	139.890	43.085	29.596	29.457	60.654	27.410
may-16	50.295	405	7.268	30.726	7.926	28.051	25.190	8.549	7.715	6.620	11.790	6.310
oct-16	60.420	165	3.711	28.123	11.119	21.196	33.434	7.817	10.167	6.261	23.413	7.600
nov-16	185.097	5.063	35.452	138.294	9.643	190.925	175.576	63.818	43.277	30.783	101.456	35.820
dic-16	232.890	7.397	45.615	115.985	17.910	207.496	145.836	84.992	37.629	42.246	64.092	39.872
ene-17	245.060	7.617	47.454	231.678	20.318	273.478	258.264	96.064	55.750	51.733	143.509	47.548
feb-17	181.458	6.987	33.104	137.936	13.128	191.313	182.550	66.871	42.290	35.287	88.654	33.393
mar-17	144.074	7.621	26.179	104.060	12.215	147.550	150.896	61.592	35.130	30.375	69.390	33.195
abr-17	56.590	3.584	16.672	61.046	8.730	64.206	55.650	28.173	8.288	12.121	32.388	12.700
may-17	38.400	1.566	12.122	22.428	7.585	22.062	14.320	9.028	1.706	4.111	9.030	2.318
oct-17	43.056	10	4.697	9.706	7.020	10.750	9.884	5.806	4.566	3.499	5.700	3.530
nov-17	160.774	4.213	37.870	133.130	11.984	148.032	124.350	64.362	37.102	27.035	71.556	33.788
dic-17	251.172	10.407	48.468	159.080	15.343	222.510	173.018	111.550	53.819	41.851	124.822	46.710
ene-18	242.664	9.738	48.828	188.850	14.960	275.251	188.888	91.069	45.982	43.756	123.410	51.528
feb-18	246.178	10.737	48.728	198.442	19.556	293.190	245.226	95.311	43.599	44.761	137.100	59.290
mar-18	208.040	7.939	28.432	160.912	15.655	219.610	217.314	77.654	51.291	38.923	110.644	52.218
abr-18	132.930	5.172	19.765	70.510	13.055	102.000	99.014	36.472	24.007	23.478	55.580	29.262
may-18	53.590	7	13.337	34.320	13.273	29.180	23.570	15.896	7.171	6.241	15.860	5.570

Capítulo 3. Análisis del Caso en Estudio

Tabla 15. Consumo de combustibles fósiles de los edificios del Campus Río Esqueva (kWh)

	Gasóleo	Gasóleo	Gas Natural	Gasóleo	Gasóleo	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gasóleo	Gas Natural
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E13	E14	E15
oct-12	18.417	36.834	17.828	14.142	117.869	26.717	7.328	44.728	26.441	25.019	14.487
nov-12	32.083	64.166	158.718	111.738	205.331	70.411	29.013	187.155	233.547	65.981	211.446
dic-12	16.491	47.219	168.403	153.434	303.000	69.423	34.243	192.809	246.803	70.700	285.072
ene-13	17.414	49.862	195.511	181.744	323.200	60.486	30.880	342.443	231.986	56.717	254.609
feb-13	16.595	84.570	241.484	239.369	296.940	77.600	32.427	348.845	231.133	54.283	314.998
mar-13	21.438	66.955	169.961	118.256	303.000	62.022	23.298	381.056	192.983	40.277	236.366
abr-13	16.161	50.475	122.600	79.149	195.940	47.899	18.563	183.948	106.846	32.185	146.559
may-13	12.902	30.436	66.794	11.169	101.000	31.816	7.021	62.781	53.047	28.487	50.082
oct-13	6.409	18.951	8.427	25.730	81.374	20.432	12.346	39.057	22	1.616	2.235
nov-13	17.455	51.613	111.525	127.313	221.626	61.042	26.338	237.231	143.684	55.254	187.533
dic-13	26.636	120.015	235.091	148.502	303.000	86.228	41.230	443.980	273.337	69.059	318.094
ene-14	14.990	88.737	192.743	114.800	298.152	67.999	36.151	349.596	336.166	51.061	258.821
feb-14	14.276	84.512	242.403	109.572	204.363	79.509	29.124	496.930	259.725	53.630	276.638
mar-14	11.000	78.485	160.164	80.574	101.667	51.450	24.955	367.450	148.360	46.470	208.852
abr-14	5.472	39.045	100.428	30.084	163.647	41.877	15.668	219.679	86.292	17.641	116.325
may-14	4.761	33.971	11.239	14.875	142.383	22.289	11.334	11.049	13.279	8.218	18.881
oct-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dic-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ene-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
feb-16	10.217	65.280	65.139	104.006	94.059	25.685	30.727	69.449	99.226	37.866	44.811
mar-16	101	4.645	2.078	14.373	9.087	4.595	739	6.275	27.252	2.470	9.303
abr-16	76	1.880	65	8.345	2.436	1.502	73	528	3.239	1.441	0
may-16	8	59	32	2.689	565	2.841	24	0	0	3.018	11.633
oct-16	378	4.695	6.169	5.050	23.832	9.665	4.184	14.513	5.081	2.706	8.497
nov-16	262	3.770	2.328	2.459	4.634	776	328	4.184	3.160	1.103	6.697
dic-16	0	1.079	888	13.261	2.999	16	48	424	120	3.832	4.136
ene-17	23	3.207	2.712	3.639	7.078	1.072	0	3.744	80	54	496
feb-17	39	2.529	1.016	5.991	1.234	40	0	3.304	600	31	0
mar-17	54	0	240	917	1.234	32	0	1.128	640	0	664
abr-17	0	77	1.320	2.837	524	32	0	464	0	601	0
may-17	77	355	0	3.184	2.691	48	496	224	0	31	0
oct-17	0	0	80	0	0	11.185	3.048	1.808	0	0	672
nov-17	0	0	2.408	0	0	144	24	1.968	0	0	464
dic-17	0	0	408	0	0	104	0	2.056	0	0	320
ene-18	0	0	848	0	0	264	112	2.944	0	0	0
feb-18	0	0	1.208	0	0	72	128	944	0	0	16
mar-18	0	0	1.656	0	0	976	168	1.464	4.120	0	864
abr-18	0	0	96	0	0	0	424	280	944	0	48
may-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 16. Consumo de biomasa de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh)

	Gasóleo	Gasóleo	Gas Natural	Gasóleo	Gasóleo	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gasóleo	Gas Natural
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E13	E14	E15
oct-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dic-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ene-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
feb-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abr-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
may-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oct-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dic-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ene-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
feb-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abr-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
may-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oct-15	2.410	7.380	15.000	8.100	46.600	18.867	4.549	52.860	34.000	9.687	53.000
nov-15	6.295	49.410	96.450	73.400	200.500	72.507	15.559	288.652	203.190	38.632	173.200
dic-15	5.973	46.960	72.750	59.700	153.300	53.670	11.035	212.113	149.940	55.921	126.100
ene-16	4.501	32.190	100.640	42.100	143.600	57.688	30.213	274.832	165.700	39.537	167.500
feb-16	12.681	79.180	130.730	93.700	262.450	84.131	32.940	383.315	268.660	64.606	224.400
mar-16	10.745	55.330	106.530	82.600	204.250	62.953	31.695	310.542	209.660	39.978	164.700
abr-16	8.465	41.350	76.990	57.500	195.000	60.303	22.042	265.968	172.710	30.550	122.200
may-16	2.436	10.910	16.750	13.500	58.700	19.842	8.194	56.485	32.710	8.069	23.400
oct-16	1.716	10.330	16.160	8.200	39.000	18.517	5.522	56.002	24.900	5.106	28.700
nov-16	8.419	64.950	136.550	40.900	194.000	76.505	26.013	333.473	259.220	37.482	186.100
dic-16	8.311	64.250	116.420	36.800	189.900	77.568	33.208	303.010	218.270	59.367	177.400
ene-17	15.868	95.660	231.590	49.500	262.300	92.057	37.659	436.855	386.700	70.832	283.300
feb-17	10.566	69.230	175.430	43.200	217.700	76.891	25.322	343.825	263.970	40.692	205.600
mar-17	9.767	51.050	150.220	50.200	186.400	67.081	21.876	293.874	179.040	31.425	169.800
abr-17	3.962	18.640	51.990	14.400	86.400	32.472	13.691	114.055	78.670	12.000	53.800
may-17	958	3.610	13.640	0	38.900	20.701	7.282	29.719	23.570	738	13.800
oct-17	1.462	5.110	11.840	4.400	31.700	12.813	2.345	27.453	18.590	1	8.100
nov-17	9.358	48.158	132.090	0	183.300	77.749	21.813	238.822	176.720	24.942	137.100
dic-17	12.659	80.392	173.260	95.300	252.700	98.174	36.608	314.827	264.900	69.441	219.700
ene-18	14.052	79.450	197.380	48.500	228.300	88.788	38.003	333.010	287.620	62.464	247.100
feb-18	17.125	99.180	256.010	64.100	296.600	108.745	43.010	398.085	307.970	65.539	267.200
mar-18	14.234	78.870	212.540	55.500	236.500	89.789	32.577	349.870	248.910	48.603	227.000
abr-18	6.280	33.930	97.750	24.100	114.600	41.843	21.713	153.107	117.120	29.414	96.300
may-18	2.132	9.060	22.440	8.600	51.300	25.939	12.372	38.661	22.920	5.144	26.700

Capítulo 3. Análisis del Caso en Estudio

Tabla 17. Consumo total térmico de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh)

	Gasóleo+Bio	Gasóleo+Bio	G.Natural+Bio	Gasóleo+Bio	Gasóleo+Bio	G.Natural+Bio	G.Natural+Bio	G.Natural+Bio	G.Natural+Bio	Gasóleo+Bio	G.Natural+Bio
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E13	E14	E15
oct-12	18.417	36.834	17.828	14.142	117.869	26.717	7.328	44.728	26.441	25.019	14.487
nov-12	32.083	64.166	158.718	111.738	205.331	70.411	29.013	187.155	233.547	65.981	211.446
dic-12	16.491	47.219	168.403	153.434	303.000	69.423	34.243	192.809	246.803	70.700	285.072
ene-13	17.414	49.862	195.511	181.744	323.200	60.486	30.880	342.443	231.986	56.717	254.609
feb-13	16.595	84.570	241.484	239.369	296.940	77.600	32.427	348.845	231.133	54.283	314.998
mar-13	21.438	66.955	169.961	118.256	303.000	62.022	23.298	381.056	192.983	40.277	236.366
abr-13	16.161	50.475	122.600	79.149	195.940	47.899	18.563	183.948	106.846	32.185	146.559
may-13	12.902	30.436	66.794	11.169	101.000	31.816	7.021	62.781	53.047	28.487	50.082
oct-13	6.409	18.951	8.427	25.730	81.374	20.432	12.346	39.057	22	1.616	2.235
nov-13	17.455	51.613	111.525	127.313	221.626	61.042	26.338	237.231	143.684	55.254	187.533
dic-13	26.636	120.015	235.091	148.502	303.000	86.228	41.230	443.980	273.337	69.059	318.094
ene-14	14.990	88.737	192.743	114.800	298.152	67.999	36.151	349.596	336.166	51.061	258.821
feb-14	14.276	84.512	242.403	109.572	204.363	79.509	29.124	496.930	259.725	53.630	276.638
mar-14	11.000	78.485	160.164	80.574	101.667	51.450	24.955	367.450	148.360	46.470	208.852
abr-14	5.472	39.045	100.428	30.084	163.647	41.877	15.668	219.679	86.292	17.641	116.325
may-14	4.761	33.971	11.239	14.875	142.383	22.289	11.334	11.049	13.279	8.218	18.881
oct-15	2.410	7.380	15.000	8.100	46.600	18.867	4.549	52.860	34.000	9.687	53.000
nov-15	6.295	49.410	96.450	73.400	200.500	72.507	15.559	288.652	203.190	38.632	173.200
dic-15	5.973	46.960	72.750	59.700	153.300	53.670	11.035	212.113	149.940	55.921	126.100
ene-16	4.501	32.190	100.640	42.100	143.600	57.688	30.213	274.832	165.700	39.537	167.500
feb-16	22.898	144.460	195.869	197.706	356.509	109.816	63.667	452.764	367.886	102.472	269.211
mar-16	10.846	59.975	108.608	96.973	213.337	67.548	32.434	316.817	236.912	42.448	174.003
abr-16	8.541	43.230	77.055	65.845	197.436	61.805	22.115	266.496	175.949	31.991	122.200
may-16	2.444	10.969	16.782	16.189	59.265	22.683	8.218	56.485	32.710	11.087	35.033
oct-16	2.094	15.025	22.329	13.250	62.832	28.182	9.706	70.515	29.981	7.812	37.197
nov-16	8.681	68.720	138.878	43.359	198.634	77.281	26.341	337.657	262.380	38.585	192.797
dic-16	8.311	65.329	117.308	50.061	192.899	77.584	33.256	303.434	218.390	63.199	181.536
ene-17	15.891	98.867	234.302	53.139	269.378	93.129	37.659	440.599	386.780	70.886	283.796
feb-17	10.605	71.759	176.446	49.191	218.934	76.931	25.322	347.129	264.570	40.723	205.600
mar-17	9.821	51.050	150.460	51.117	187.634	67.113	21.876	295.002	179.680	31.425	170.464
abr-17	3.962	18.717	53.310	17.237	86.924	32.504	13.691	114.519	78.670	12.601	53.800
may-17	1.035	3.965	13.640	3.184	41.591	20.749	7.778	29.943	23.570	769	13.800
oct-17	1.462	5.110	11.920	4.400	31.700	23.998	5.393	29.261	18.590	1	8.772
nov-17	9.358	48.158	134.498	0	183.300	77.893	21.837	240.790	176.720	24.942	137.564
dic-17	12.659	80.392	173.668	95.300	252.700	98.278	36.608	316.883	264.900	69.441	220.020
ene-18	14.052	79.450	198.228	48.500	228.300	89.052	38.115	335.954	287.620	62.464	247.100
feb-18	17.125	99.180	257.218	64.100	296.600	108.817	43.138	399.029	307.970	65.539	267.216
mar-18	14.234	78.870	214.196	55.500	236.500	90.765	32.745	351.334	253.030	48.603	227.864
abr-18	6.280	33.930	97.846	24.100	114.600	41.843	22.137	153.387	118.064	29.414	96.348
may-18	2.132	9.060	22.440	8.600	51.300	25.939	12.372	38.661	22.920	5.144	26.700

3.3.3. Factores de emisión de CO₂

Entendiendo energía primaria como la energía disponible en la naturaleza antes de ser transformada, es decir como la proveniente de los combustibles fósiles: gas natural, petróleo y carbón, la proveniente de combustibles nucleares y la proveniente de recursos renovables como la biomasa, del calor de la tierra del viento o del sol; y entendiendo la energía final como la energía primaria ya transformada y transportada, lista para el consumo en cualquier aplicación. (EOI. Escuela de Organización Industrial, 2015) [109]

Las energías que compraba la Universidad para satisfacer sus necesidades térmicas, antes de conectar sus edificios a la red de calor, eran energías finales que provenían de la energía primaria del gas natural y gasóleo.

Tras conectar sus edificios a la red de calor, la energía final comprada proviene, además de las energías primarias del gas natural y gasóleo de la biomasa.

Según el Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), emitido como Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y Ministerio de Fomento: “Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España”, con obligación de aplicarse a partir del 14 de enero de 2016. (Ministerios de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento, 2014) [110], los factores de emisión de CO₂ que sirven para pasar de kWh de Energía final a kg de CO₂ emitidos, son los mostrados en la Tabla 18.

Tabla 18. Factores de emisiones de CO₂

	kg CO ₂ / kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	0,357
Electricidad convencional peninsular	0,331
Electricidad convencional extrapeninsular	0,833
Gasóleo calefacción	0,311
Gases Licuados del Petróleo (GLP)	0,254
Gas Natural	0,252
Carbón	0,472
Biomasa	0,018

Donde la biomasa es tratada como energía final una vez transportada a la central térmica donde será quemada.

Para pasar de esa energía final puesta a las puertas de la central térmica a la energía final disponible para ser utilizada en cada uno de los edificios de la UVA que han sido conectados a la red de calor, hay que tener en cuenta las pérdidas que se producen en esta segunda transformación, como se aprecia en la Figura 53.

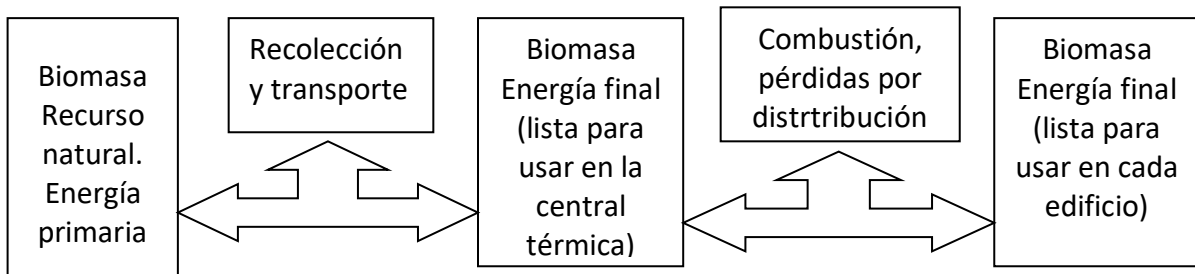


Figura 53. Transformaciones de la Biomasa

Según los gestores de la red de calor, las calderas de biomasa presentan unos rendimientos superiores al 86% (Lara, 2017) [111] y las pérdidas de distribución, aunque dependen de la cantidad de energía transportada, se mueven en un rango del 10% para los días de diario de mayor consumo y un 23% para los fines de semana con bajo consumo.

Tomando como rendimiento estacional de generación y distribución el resultado de multiplicar $0,86 \times 0,90 = 0,774$, se podría considerar que la transformación de la energía final lista para usar en la central térmica a energía final lista para usar en cada edificio, debe ser afectada por el coeficiente 0,744.

Por lo tanto la emisiones asociadas a la biomasa (energía final lista para usar en cada edificio será $= 0,018 / 0,744 = 0,024 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh E. final a usar en cada edificio}$).

Estas emisiones, junto con las asociadas a la energía final del gas natural y gasóleo, serán las utilizadas para el cálculo de emisiones ahorradas en cada uno de los edificios conectados a la red de calor.

3.3.4. Precios de los combustibles

Según las estadísticas de Eurostat, la evolución de los precios de gas natural en €/kWh, para el sector doméstico (consumo inferior a 55.555 kWh/año) y sector no doméstico, para los años 2015, 2016 y 2017, es la mostrada en la Tabla 19. (Eurostat, 2018) [112]

Tabla 19. Precios del Gas natural 2015, 2016y 2017

	Doméstico (€/kWh)			No doméstico (€/kWh)		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
EU-28	0,0711	0,0636	0,0633	0,0344	0,0299	0,0281
Euro área	0,0770	0,0719	0,0719	0,0347	0,0313	0,0293
España	0,0956	0,0857	0,0865	0,0317	0,0260	0,0267

Atendiendo a las sucesivas publicaciones en el Boletín Oficial del Estado, (Dirección General de Política Energética y Minas, 2016) [113], (Dirección General de Política Energética y Minas, 2017) [114], [115], [116], [117], (Dirección General de Política Energética y Minas, 2018) [118], [119], [120] la variación del precio del coste del gas como materia prima se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Coste de la materia prima de gas natural 2017 y 2018

Coste de la materia prima	Resolución de 29/12/2016	Resolución de 24/03/2017	Resolución de 28/06/2017	Resolución de 25/09/2017	Resolución de 26/12/2017	Resolución de 22/03/2018	Resolución de 28/06/2018	Resolución de 25/09/2018
A partir de:	1/01/2017	1/04/2017	1/07/2017	1/10/2017	1/01/2018	1/04/2018	1/07/2018	1/10/2018
c€/kWh	1,927731	2,041418	1,978795	1,896592	2,252409	2,043030	2,256600	2,767891
c€/kWh promedio	1,961134			2,3299825				
% aumento							118,8%	

Durante el año 2018, el precio del coste de la materia prima subió un 18,8% con respecto a los precios del 2017

Según esas mismas Resoluciones, la evolución de las Tarifas de Último Recurso T1 (consumo ≤ 5.000 kWh/año) y T2 (5.000 < consumo ≤ 50.000 kWh/año) de gas natural, fueron las recogidas en la Tabla 21

Tabla 21. Evolución de las Tarifas de Último Recurso T1 y T2, 2017 y 2018

Coste de la materia prima	Resolución de 29/12/2016	Resolución de 24/03/2017	Resolución de 28/06/2017	Resolución de 25/09/2017	Resolución de 26/12/2017	Resolución de 22/03/2018	Resolución de 28/06/2018	Resolución de 25/09/2018
A partir de:	1/01/2017	1/04/2017	1/07/2017	1/10/2017	1/01/2018	1/04/2018	1/07/2018	1/10/2018
Término de potencia T1 €/cliente/mes	4,31	4,31	4,31	4,31	4,28	4,28	4,28	4,28
Término de energía T1 c€/kWh	5,05	5,16	5,10	5,02	5,37	5,16	5,38	5,89
Término de potencia T2 €/cliente/mes	8,45	8,45	8,45	8,45	8,44	8,44	8,44	8,44
Término de energía T2 c€/kWh	4,36	4,47	4,41	4,41	4,68	4,47	4,69	5,20
Término de energía T1 c€/kWh promedio		5,083				5,450		
% aumento						107,2%		
Término de energía T2 c€/kWh promedio		4,413				4,760		
% aumento						107,9%		

Durante el año 2018, el precio del término de energía para la Tarifa T1, subió un 7,2 % y el precio del término de energía para la Tarifa T2, un 7,9 % con respecto a los precios del 2017.

Considerando un aumento en el precio del 7,2%, el precio estimado para el gas natural en el año 2018, para el sector no doméstico sería de $0,0267 \times 1,072 = 0,0286$ €/kWh. En cuanto al Gasóleo de calefacción y la biomasa, según los datos publicados por el IDAE, (IDAE. Dirección de Energías Renovables. Departamento de Biomasa y Residuos, 2018) [121], la evolución de los precios en c€/kWh sin incluir el IVA, se muestra en la siguiente Tabla 22, donde se aprecia como el precio de la biomasa ha permanecido más estable.

Tabla 22. Precios del Gasóleo C y de la Biomasa 2015, 2016, 2017 y 2018

Precios en c€/kWh	2T 2015	3T 2015	4T 2015	1T 2016	2T 2016	3T 2016	4T 2016	1T 2017	2T 2017	3T 2017	4T 2017	1T 2018	2T 2018
GASOIL C	5,69	5,11	4,71	3,82	4,31	4,63	4,74	5,44	4,96	4,74	4,81	5,39	5,82
Promedio. Gasoil C	5,170		4,375				4,988			5,605			
Pellet certificado A1 a granel	3,78	3,68	3,51	3,55	3,52	3,49	3,58	3,68	3,59	3,74	3,66	3,76	3,74
Pellet no certificado a granel	3,69	3,45	3,51	3,60	3,51	3,61	3,63	3,60	3,63	3,54	3,52	3,47	3,48
Astilla elaborada	2,84	2,76	2,71	2,47	2,52	2,64	2,60	2,74	2,43	2,53	2,46	2,35	2,43
Promedio Astilla	2,770		2,558				2,540			2,390			

En resumen la evolución de los precios de los combustibles desde el año 2015 al 2018, se muestran en la Tabla 23 y Figura 54

Tabla 23. Precios de referencia variables para Gas natural, Gasóleo y Astilla 2015-2018.

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,0560
Gas Natural	0,0317	0,0260	0,0267	0,0286
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239

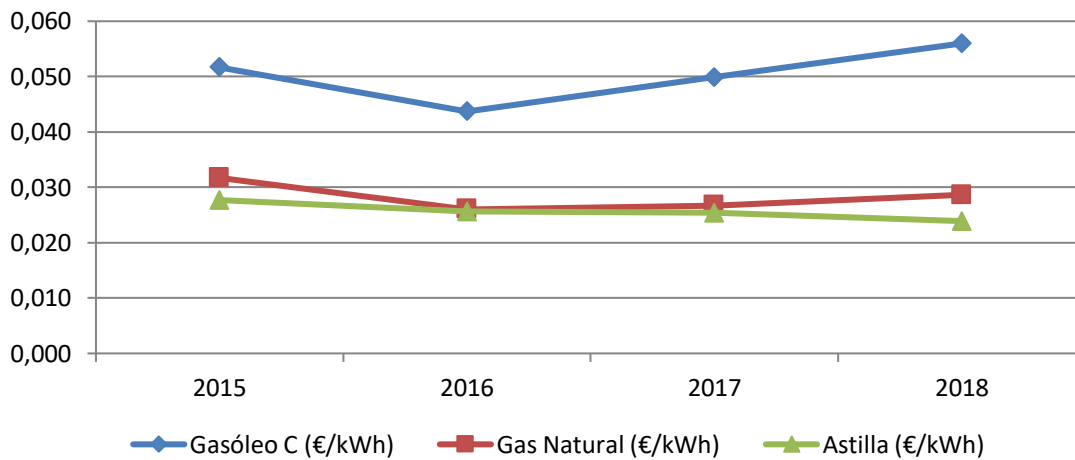


Figura 54. Evolución de los precios de los combustibles 2015-2018

El término variable de una factura de gas, puede representar el 85% de la factura total, el otro 15%, se debe al término fijo, alquiler de equipos e impuesto sobre el gas natural. Luego para obtener el precio de gas natural multiplicaremos el término variable por $(100/85 = 1,18)$, quedando los precios reflejados en la Tabla 24:

Tabla 24. Precios de referencia totales para Gas natural, Gasóleo y Astilla 2015 2018.

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,0560
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239

El precio que paga la Universidad por la energía suministrada procedente de la red de calor no es el precio de la astilla, dado que dicho precio debe verse influenciado por todo el rendimiento del sistema de generación, distribución, regulación e intercambio hasta llegar a la salida del intercambiador de cada edificio, además del beneficio industrial que aplique el suministrador de la energía.

Habiendo estimado el precio de los combustibles fósiles utilizados en cada edificio, se estimará el precio máximo de los kWh útiles comprados a la red de calor que tendría que haber pagado la Universidad para conseguir el objetivo del 15% de ahorro durante las tres primeras temporadas.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. CAMPUS MIGUEL DELIBES.

4.0. Introducción

En este capítulo se irán analizando cada uno de los doce edificios de la Universidad de Valladolid, pertenecientes al Campus Miguel Delibes, que están conectados a la red de calor.

Para cada uno de ellos se irá aplicando la metodología descrita en el capítulo 3:

- Se irá obteniendo el modelo o modelos que pueda predecir su consumo térmico en función de la o las variables climáticas que más influencia tengan sobre el consumo.
- Se comprobará el cumplimiento de todos los supuestos de la regresión lineal simple o múltiple, en función de los modelos obtenidos.
- Se verificará la existencia de diferencias significativas entre las medias de los consumos reales obtenidos para cada una de las tres temporadas posteriores a la puesta en marcha de la red y para las tres temporadas en su conjunto.
- Se estimaran las emisiones de CO₂ ahorradas en cada edificio, en las tres temporadas de funcionamiento de la red, por utilizar energía procedente de la red de calor.
- Se calculará el precio máximo de la energía térmica comprada a la red para que el ahorro económico que se experimente en las tres temporadas de funcionamiento de la red, llegue a ser del 15 % con respecto al coste hubiera tenido la Universidad si el edificio no se hubiera conectado a la red de calor.

En este capítulo se mostrará únicamente el resumen de los resultados de cada edificio, recogiendo el desarrollo de la metodología completa para cada edificio en el Anexo IV.

4.1. Edificio D1. Apartamentos Cardenal Mendoza

Edificio de tipo residencial que empezó a funcionar en el año 1996, cuenta con una superficie construida de 17.616 m². Inicialmente la calefacción y el agua caliente sanitaria eran suministradas mediante tres calderas de gas natural de una potencia total de 1.554 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 1.454 kW. En la Figura 55 se marca la ubicación del edificio



Figura 55. Ubicación del Edificio D1 en el croquis del campus Miguel Delibes

Los modelos encontrados para predecir el consumo térmico del Edificio, fueron

Modelo 1: $kWh_D1 = 391.037,854 - 23.838,939 \times T_med$

Modelo 2: $kWh_D1 = 271.370,906 - 20.045,184 \times T_med + 50.568,513 \times V_viento_nocturna$

El resumen de los modelos, con los coeficientes de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 25 y en la Tabla 26, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 25. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D1

	Variables independientes	Constante	B	R	R ²
D1_Modelo 1	Tmed	391.037,854	-23.838,939	-0,899	0,808
D1_Modelo 2	Tmed / V_nocturna	271.370,906	-20.045,184 / 50568,513	-0,931	0,866

Tabla 26. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D1

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo 1	Modelo 2
1. Linealidad de las variables	Cumple	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple	Cumple
5. Falta de multicolinealidad entre las variables independientes.		Cumple

En la Figura 56, se representan los consumos reales y los pronosticados con los modelos de regresión obtenidos, en kWh.

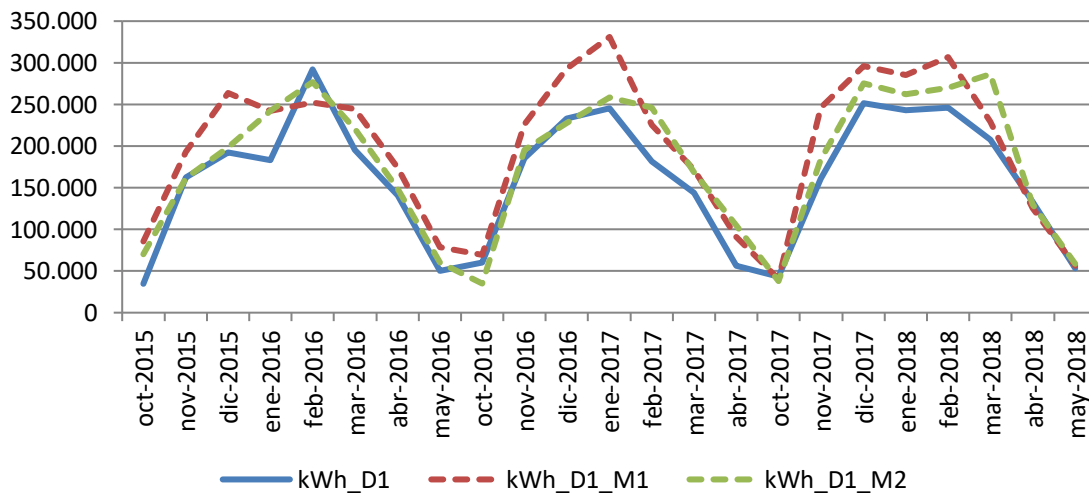


Figura 56. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D1. 2015-2018

En la mayoría de los meses los consumos pronosticados con el modelo 1, son superiores a los pronosticados con el Modelo 2

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 27

Tabla 27. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D1

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D1_Modelo 1	22,7%	SI	27,3%	SI	18,5%	SI	22,5%	SI
D1_Modelo 2	10,2%	No	11,8%	No	12,4%	No	11,5%	Consumos predichos no Normal

En la Figura 57 se grafican los consumos reales y pronosticados para el periodo Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D1, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada únicamente es estadísticamente significativa la diferencia encontrada entre el consumo real y el pronosticado por el Modelo 1, esta diferencia implica que utilizando la línea base establecida en el Modelo 1, se ha logrado un ahorro del 22,5 % con la implantación de la red de calor, durante las tres temporadas octubre 2015 – mayo 2018, para un nivel de confianza del 95 %.

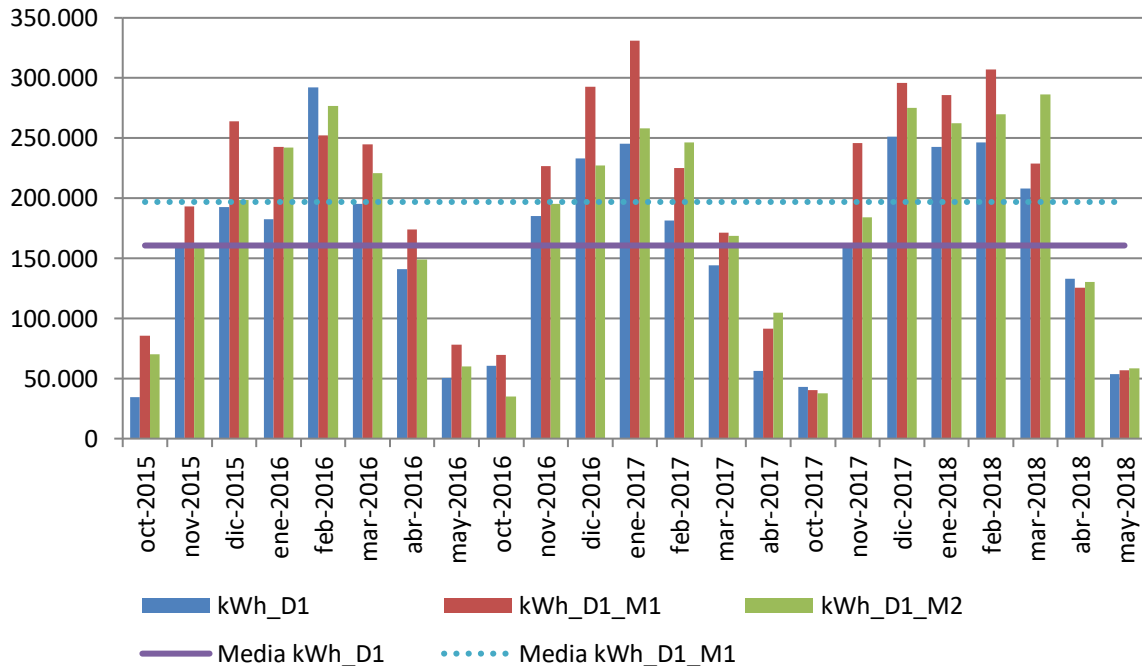


Figura 57. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1

En la Figura 58, se observa el consumo real del Edificio D1, en comparación con el consumo pronosticado acumulado con el Modelo 1 que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

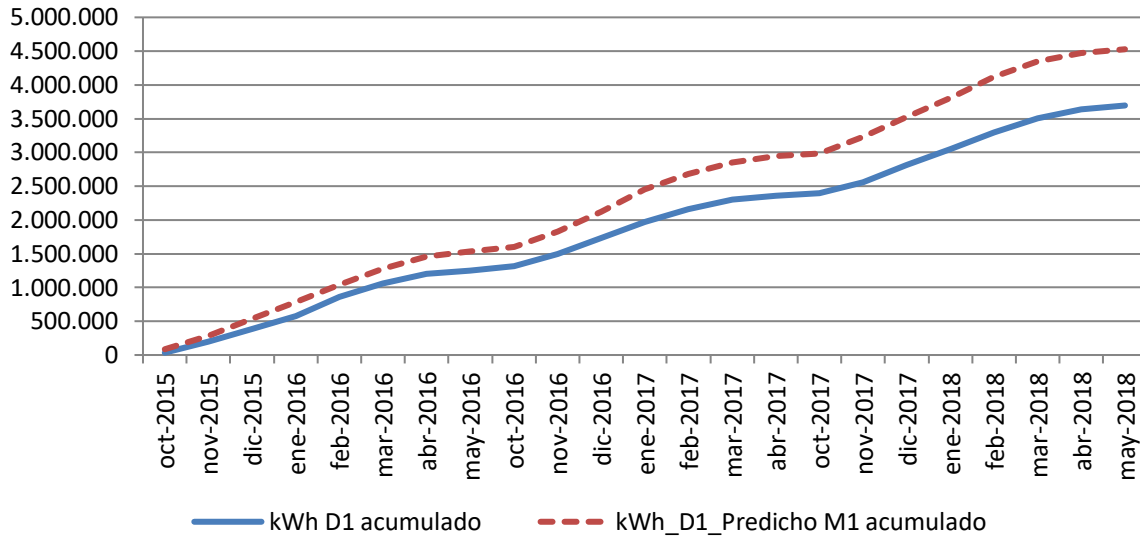


Figura 58. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Resumen de resultados. Edificio D1

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	22,5%	196.862 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	18,4%	832.961 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	89,0%	1.016 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,0338 €/kWh	21.919 €

4.2. Edificio D2. Biblioteca de los Apartamentos Cardenal Mendoza

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1996, cuenta con una superficie construida de 464 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante una caldera de gas natural de una potencia de 41 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 42 kW. En la Figura 59 se marca la ubicación del edificio



Figura 59. Ubicación del Edificio D2 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_D2_Pronosticado} = -663,338 + 38,971 \times \text{GD15_30min}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 29 y en la Tabla 30, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 29. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D2

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D2	GD15_30min	-663,338	38,971	0,985	0,970

Tabla 30. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D2

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 60, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

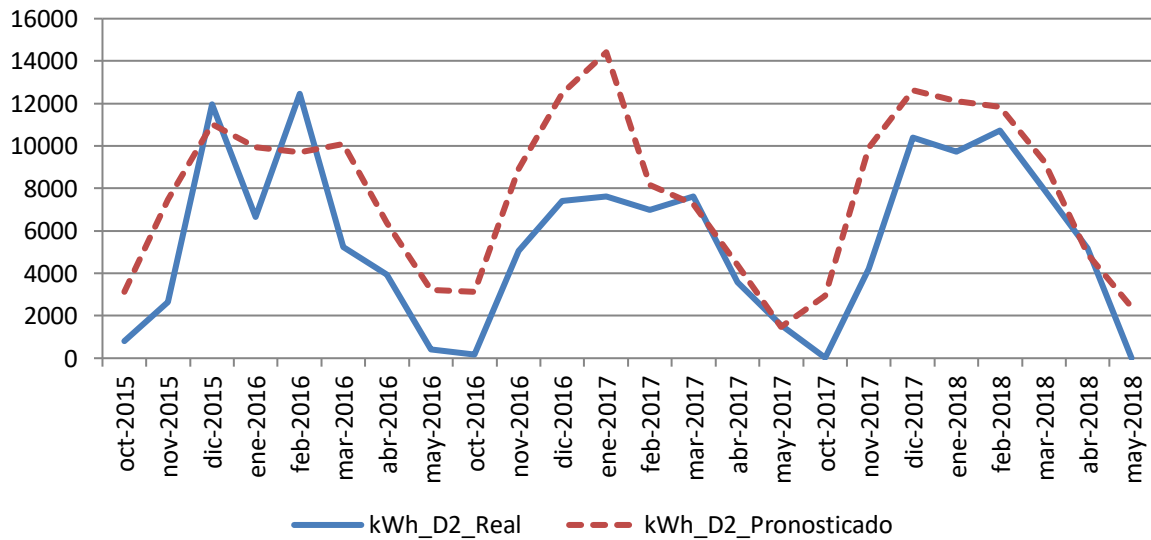


Figura 60. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D2. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se muestra en la Tabla 31

Tabla 31. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D2

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D2	38,2%	No	50,6%	SI	37,0%	SI	41,5%	SI

En la Figura 61, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D2, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

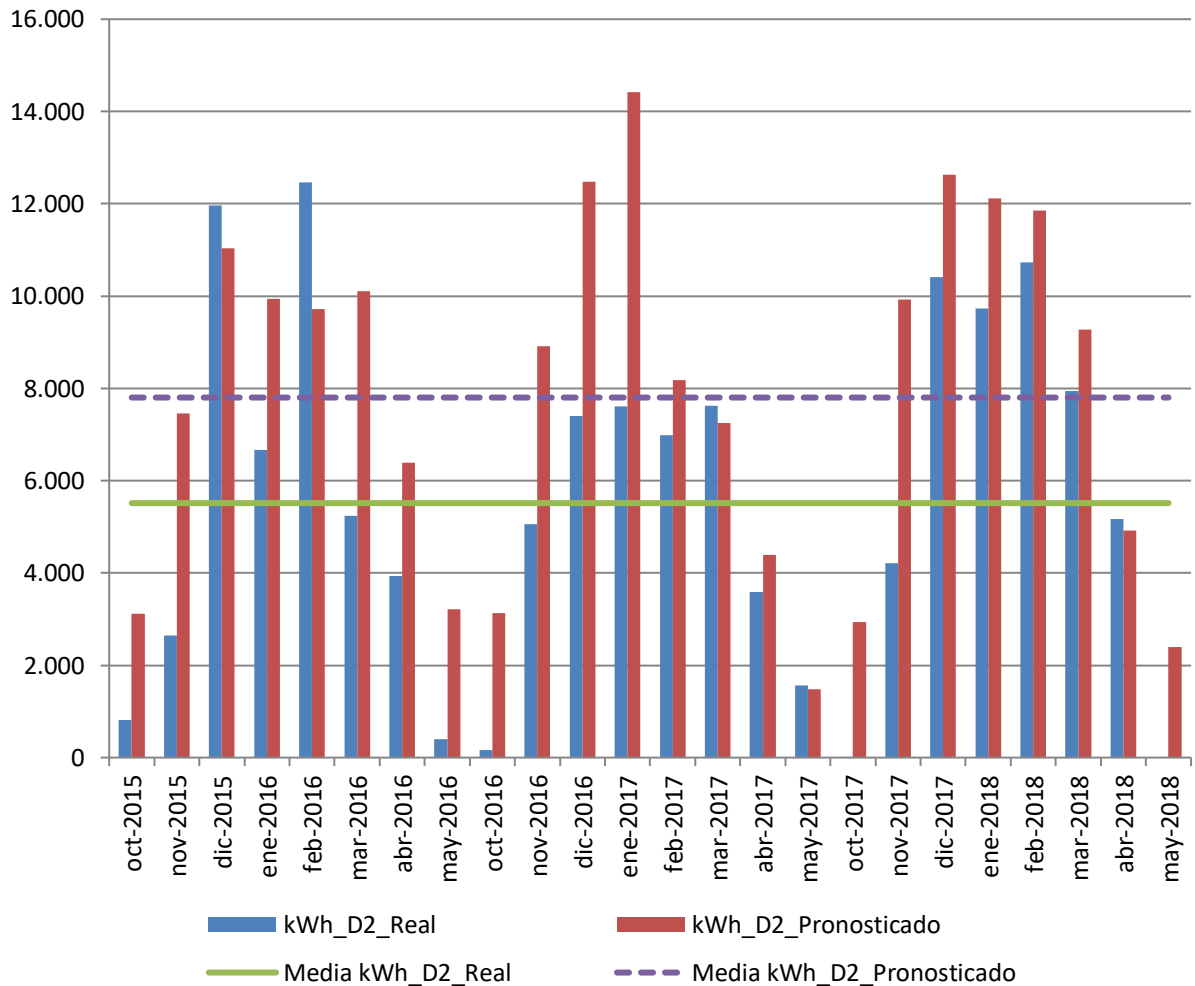


Figura 61. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2

En la Figura 62, se observa el consumo real del Edificio D2, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

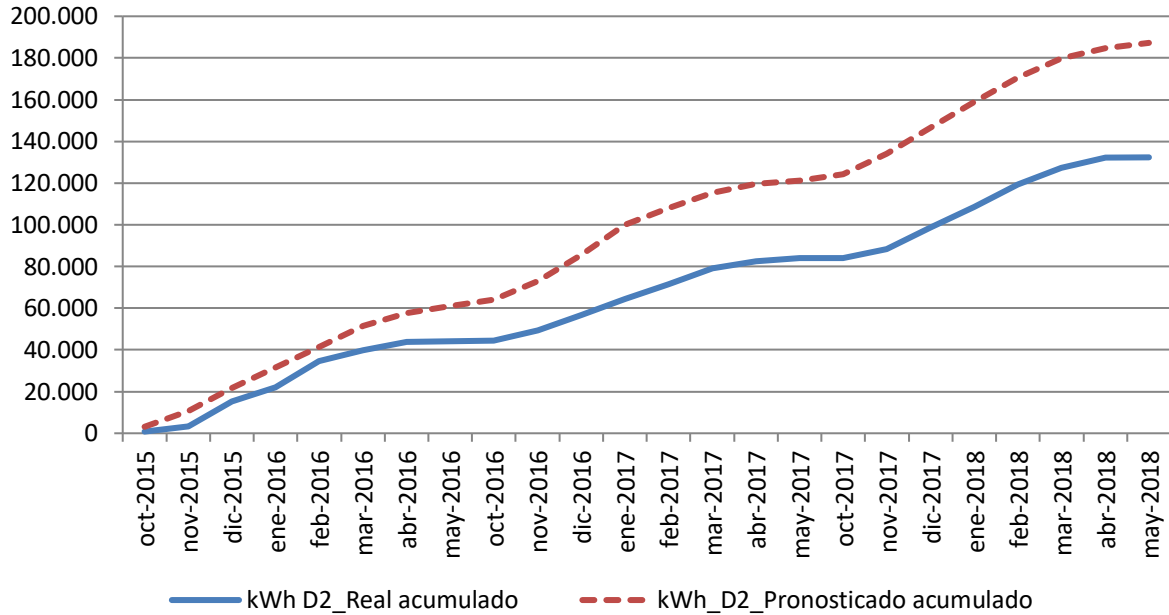


Figura 62. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 32.

Tabla 32. Resumen de resultados. Edificio D2

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	41,5%	2.288 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	29,3%	54.905 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	87,5%	41 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,03961 €/kWh	909 €

4.3. Edificio D3. Centro de Transferencia de Tecnologías aplicadas. CTTA

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 2007, cuenta con una superficie construida de 5.487 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante tres calderas de gas natural de 116 kW cada una, lo que hace una potencia total de 348 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 342 kW. En la Figura 63 se marca la ubicación del edificio

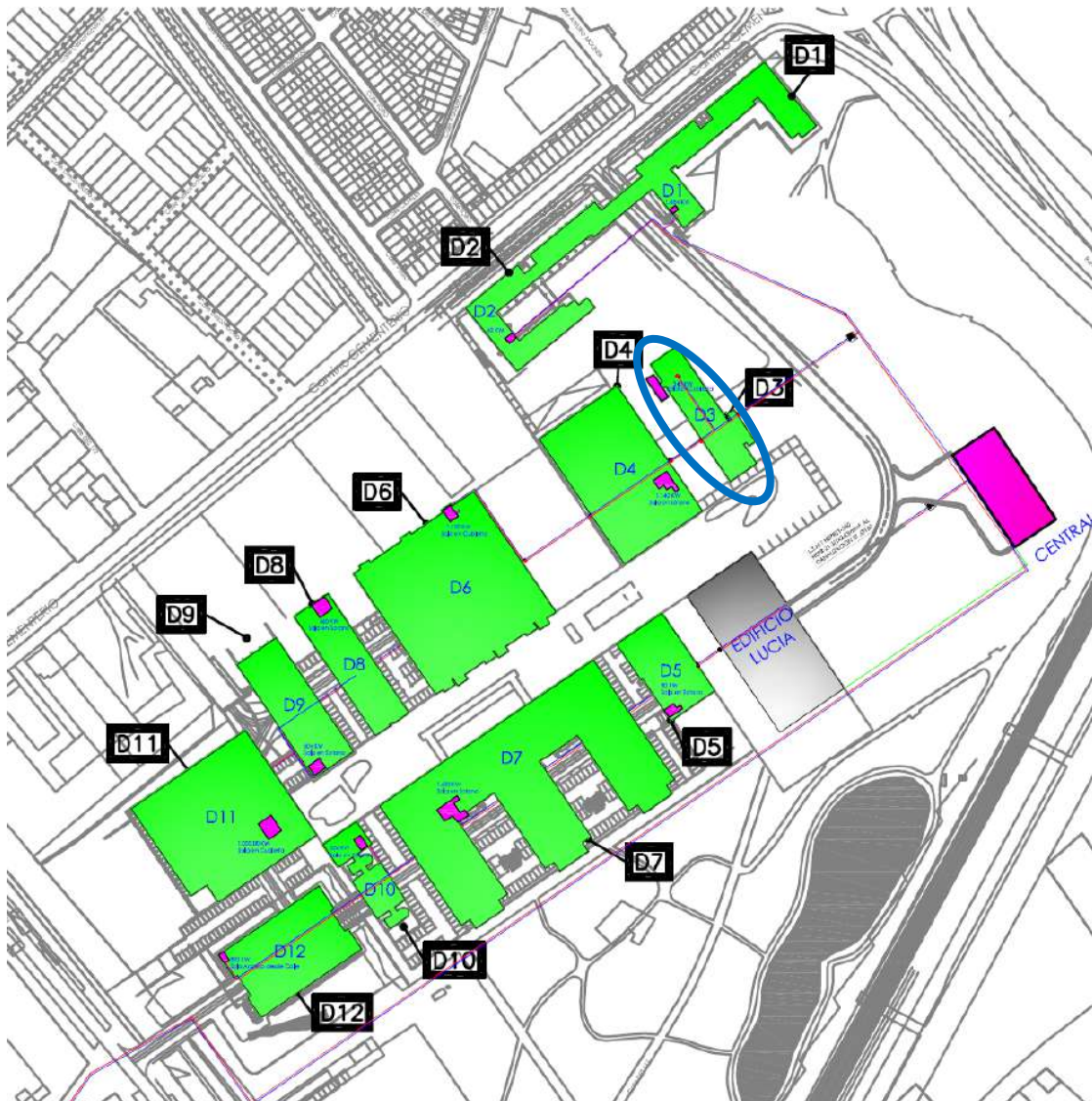


Figura 63. Ubicación del Edificio D3 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_D3_Pronosticado} = -6854,944 + 192,51 \times \text{GD15_30min}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 33 y en la Tabla 34, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 33. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D3

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D3	GD15_30min	-6.854,944	192,510	0,921	0,848

Tabla 34. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D3

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo 1
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 64, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

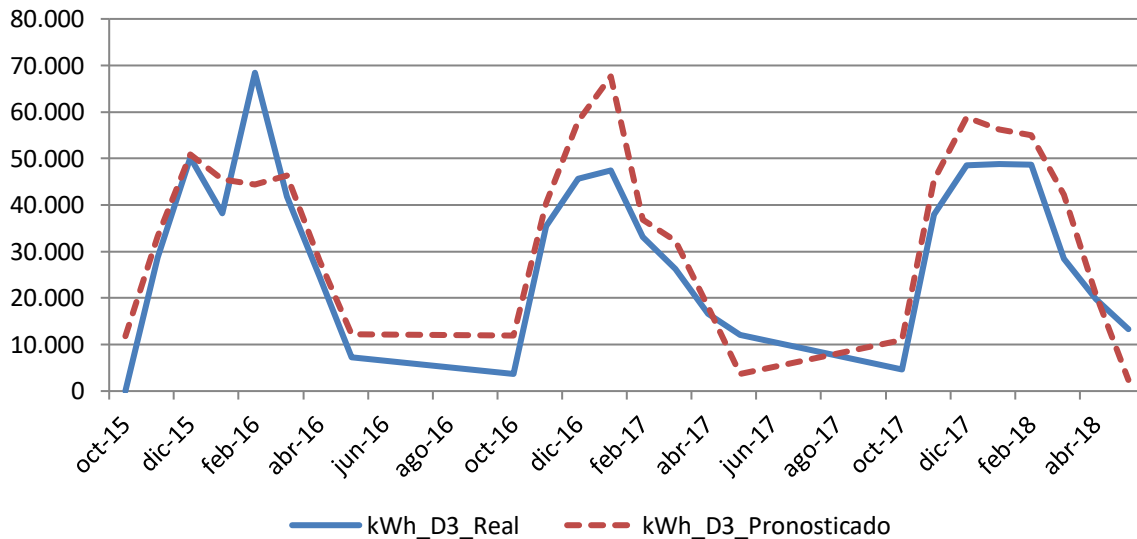


Figura 64. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D3. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en las Tabla 35.

Tabla 35. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D3

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D3	5,1%	No	22,1%	No	16,7%	No	14,2%	SI

En la Figura 65, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D3, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

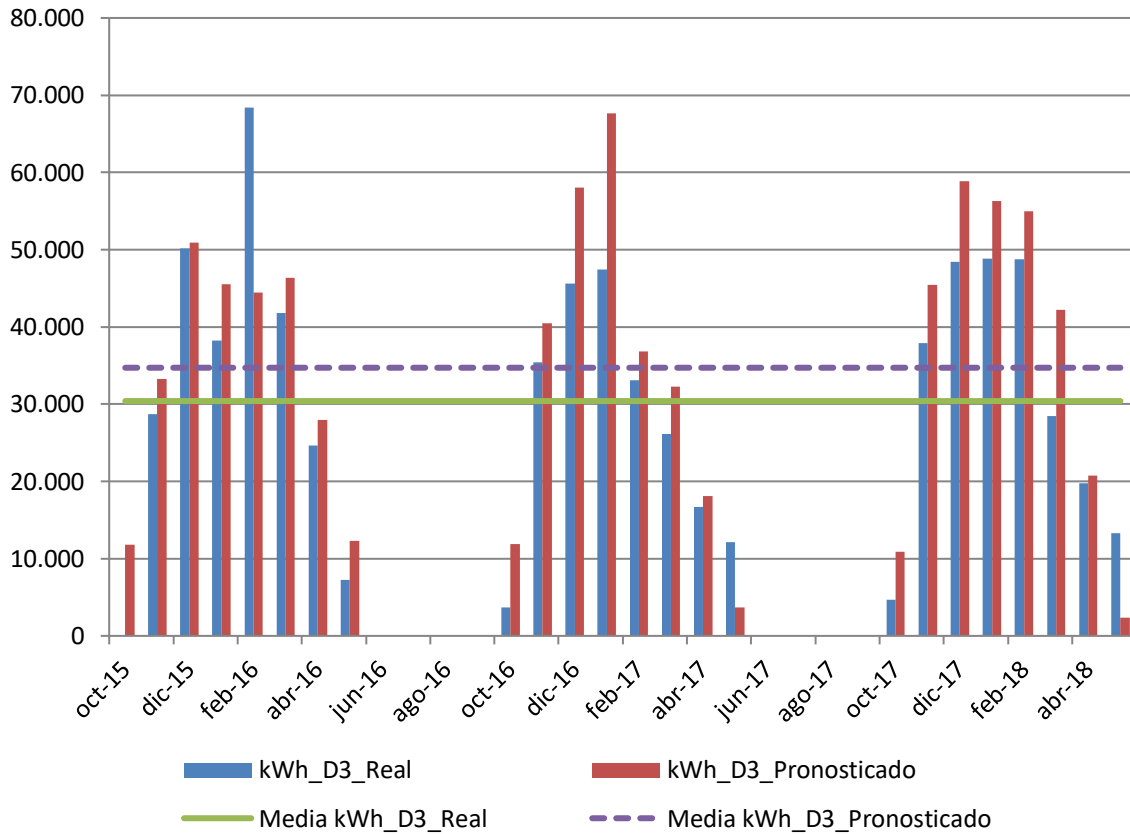


Figura 65. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3

En la Figura 66, se observa el consumo real del Edificio D3, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

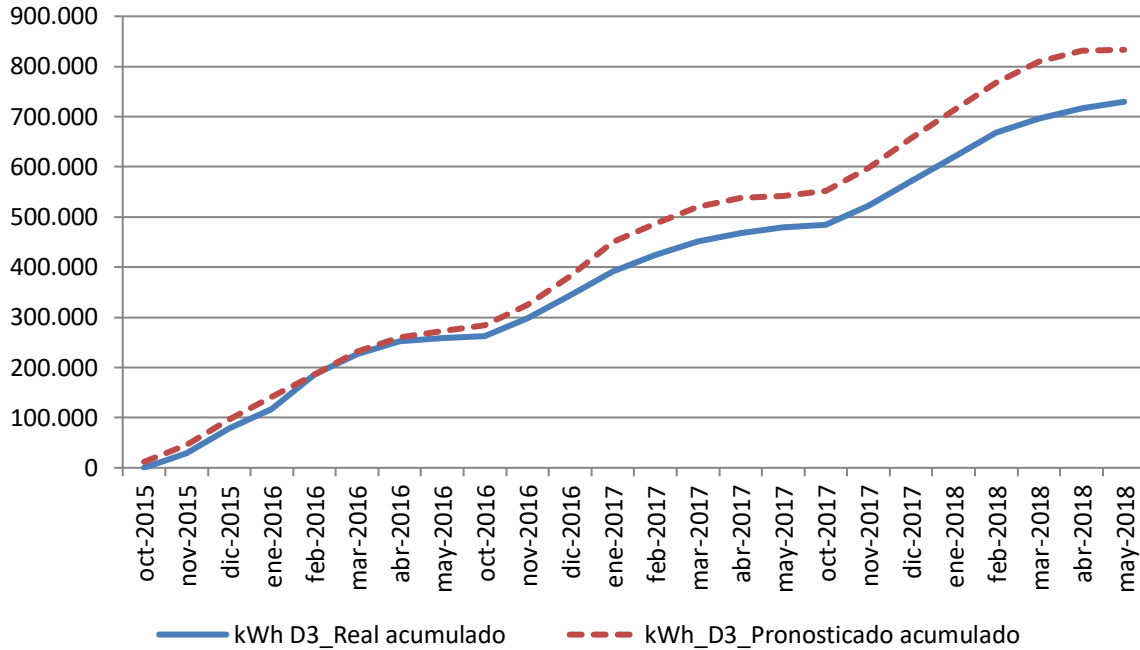


Figura 66. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en las Tabla 36

Tabla 36. Resumen de resultados. Edificio D3

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	14,2%	4.317 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	12,4%	103,598 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	85,1%	179 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,0314€/kWh	26.890 €

4.4. Edificio D4. Biblioteca aulario Miguel Delibes

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 2012, cuenta con una superficie construida de 14.541 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de 570 kW cada una, lo que hace una potencia total de 1.140 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 1.140 kW. En la Figura 67 se marca la ubicación del edificio

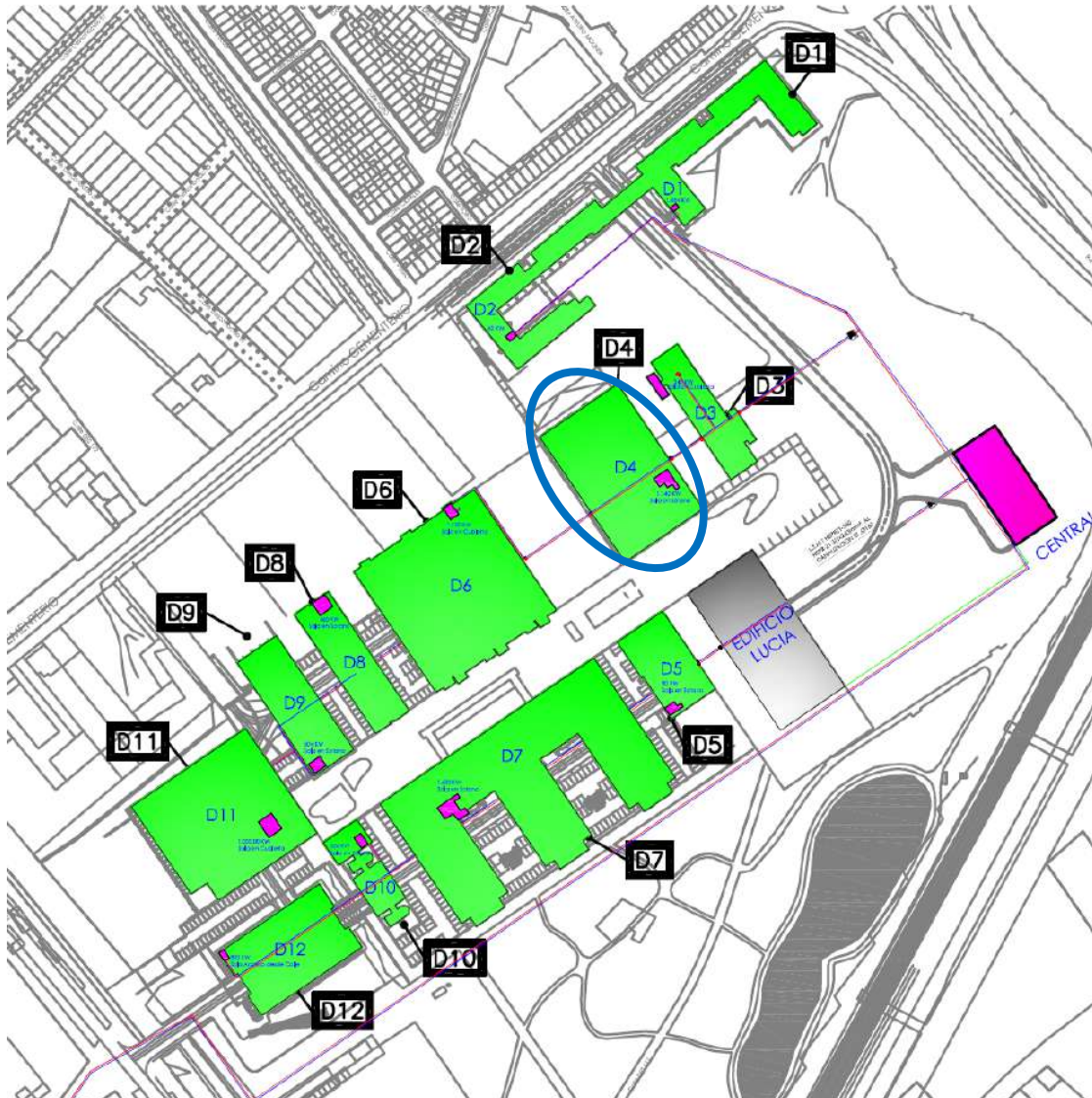


Figura 67. Ubicación del Edificio D4 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh}_{D4_Pronosticado} = 271.046,123 - 17.453,026 \times T_{med}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 37 y en la Tabla 38, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 37. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D4

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D4	Tmed	271.046,123	-17.453,026	-0,940	0,888

Tabla 38. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D4

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo 1
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 68, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

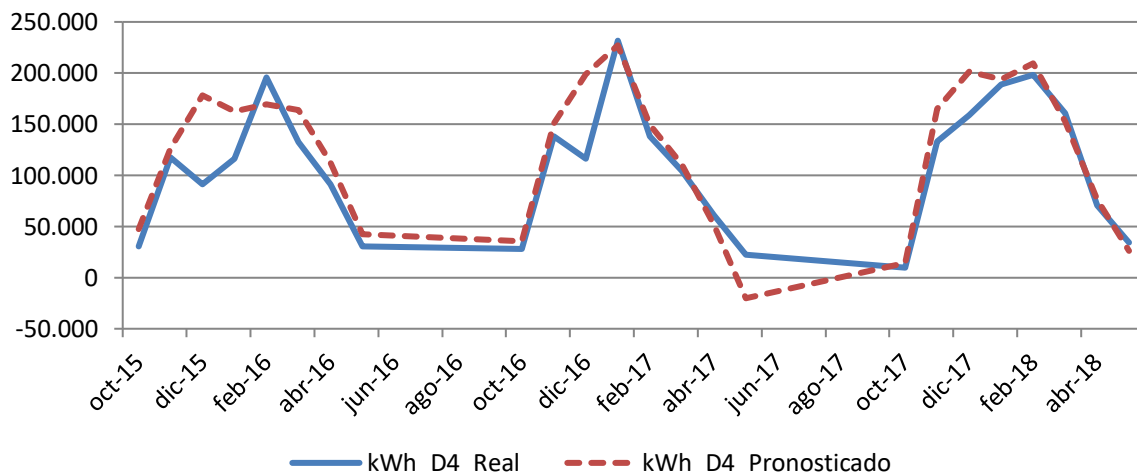


Figura 68. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D4. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en las Tabla 39

Tabla 39. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D4

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D4	24,1%	No	13,1%	No	8,8%	No	14,9%	SI

En la Figura 69, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D4, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

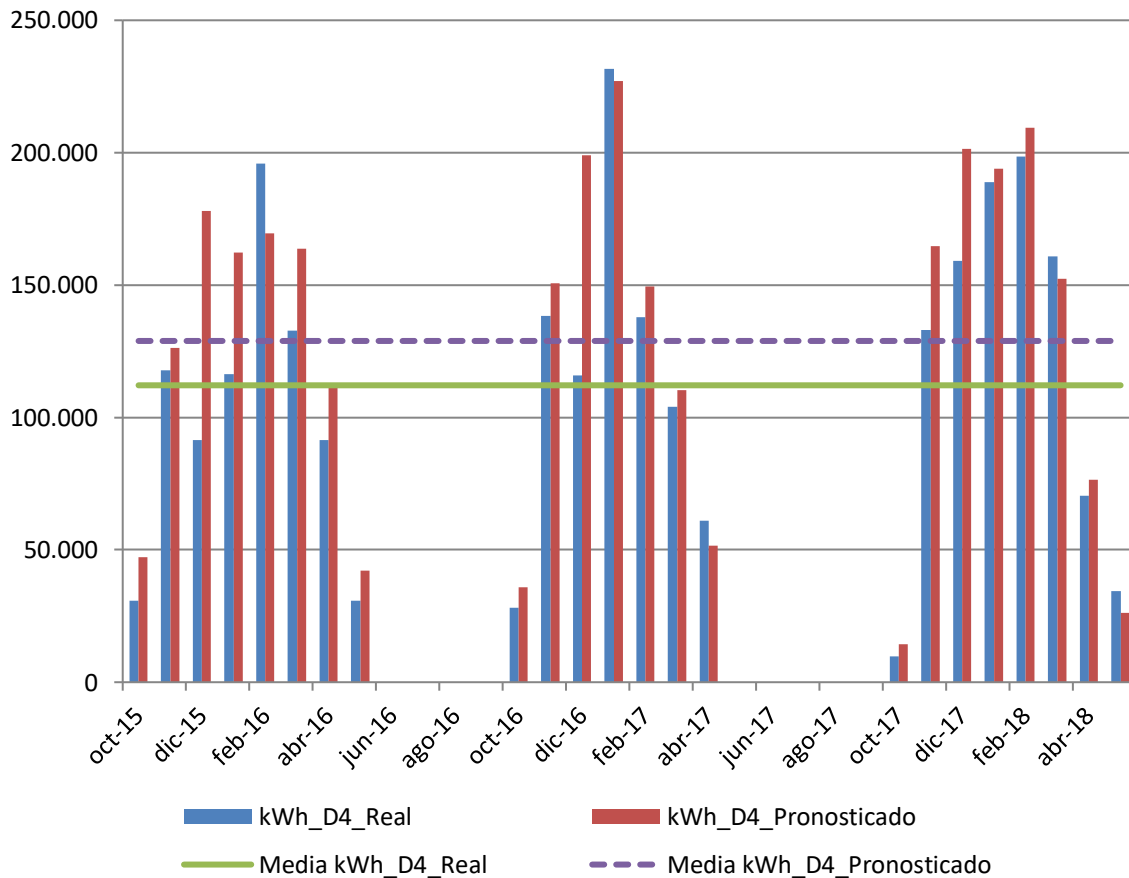


Figura 69. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4

En la Figura 70, se observa el consumo real del Edificio D4, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

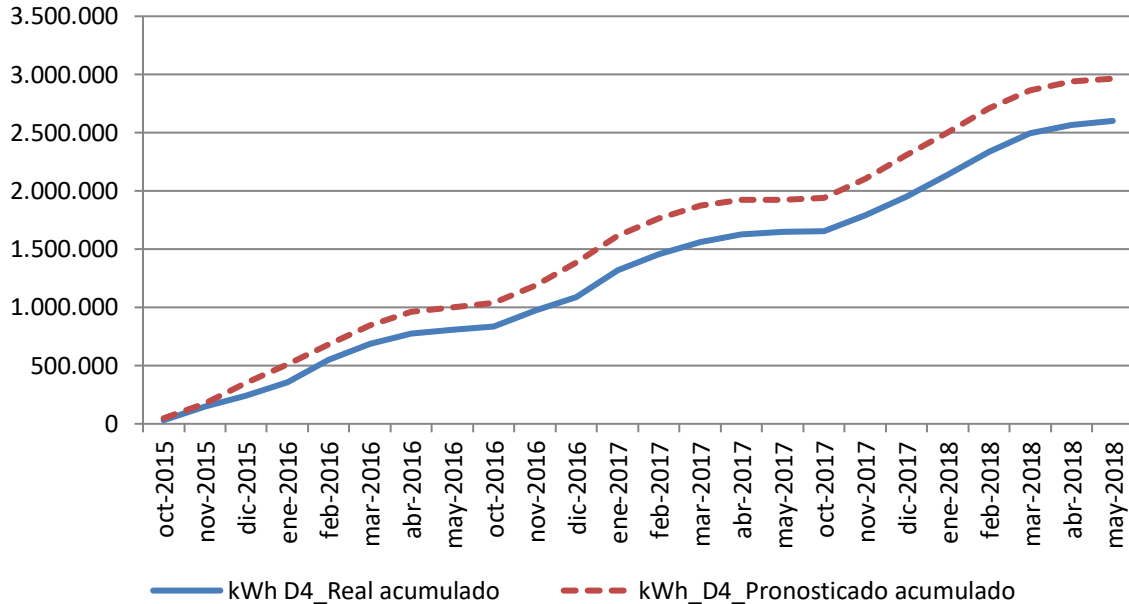


Figura 70. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en las Tabla 40

Tabla 40. Resumen de resultados. Edificio D4

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	14,9%	16.751 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	13,0%	385.278 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	89,1%	665 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,0313€/kWh	14.400 €

4.5. Edificio D5. Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada. IOBA

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 2008, cuenta con una superficie construida de 4.146 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de 41 kW cada una, lo que hace una potencia total de 81 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 80 kW. En la Figura 71 se marca la ubicación del edificio

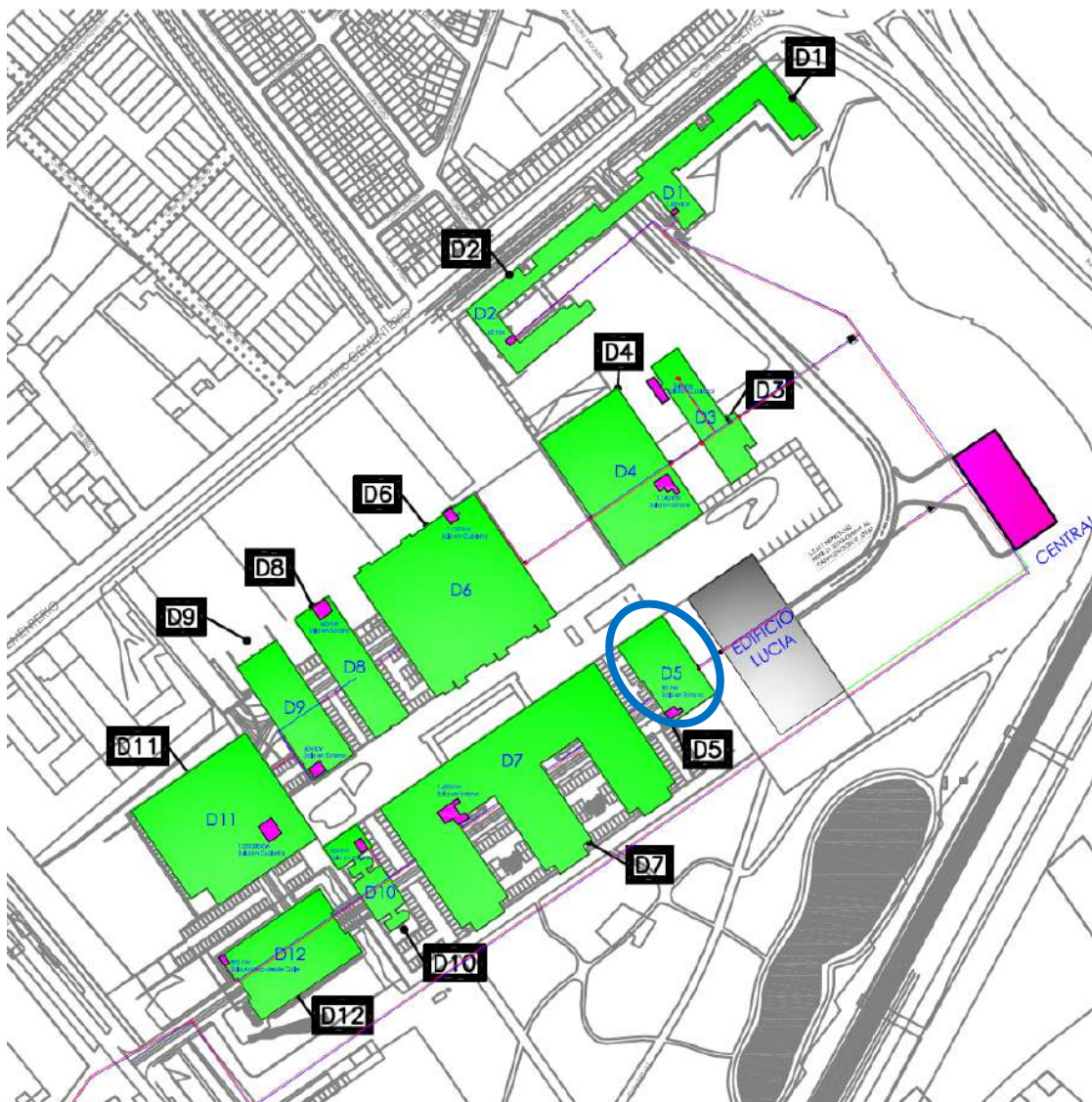


Figura 71. Ubicación del Edificio D5 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_D5_Pronosticado} = -653,894 + 56,535 \times \text{GD15_30min}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 41 y en la Tabla 42, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 41. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D5

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D5	GD15_30min	-653,894	56,535	0,993	0,986

Tabla 42. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D5

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 72, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

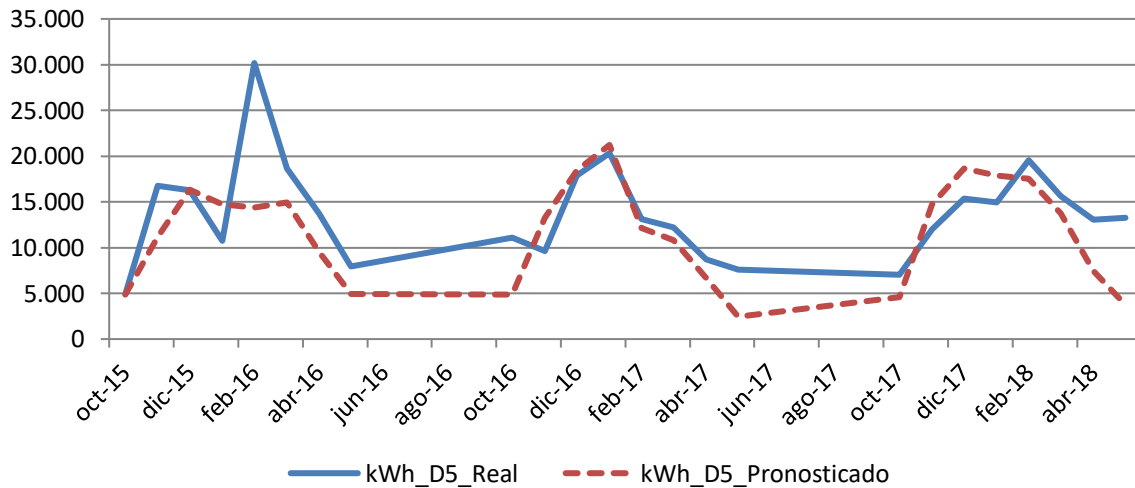


Figura 72. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D5. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en las Tabla 43

Tabla 43. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D5

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D5	-23,7%	No	-10,7%	No	-11,3%	No	-15,6%	SI

En la Figura 73, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D5, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

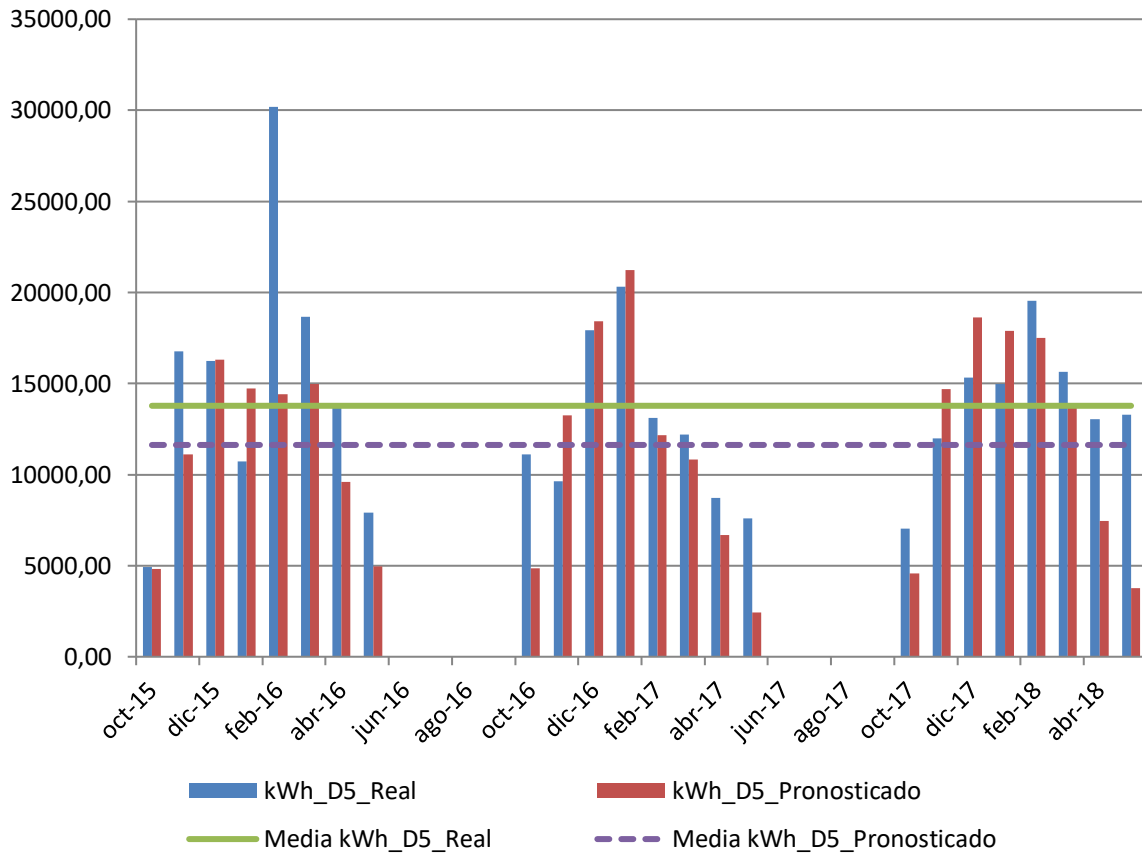


Figura 73. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5

En la Figura 74, se observa el consumo real del Edificio D5, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

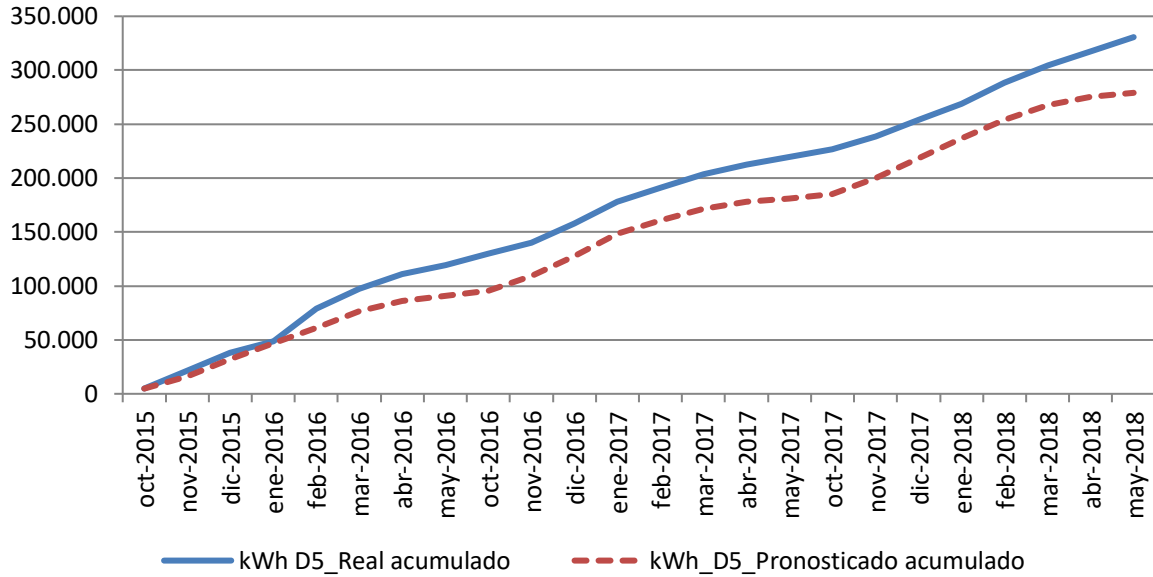


Figura 74. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en las Tabla 44

Tabla 44. Resumen de resultados. Edificio D5

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	-15,6%	-2.151 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-18,5%	-51.614 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	77,0%	54 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02224€/kWh	1.348 €

4.6. Edificio D6. Facultad de Ciencias

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 2009, cuenta con una superficie construida de 19.137 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de 581 kW cada una, lo que hace una potencia total de 1.162 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 1.120 kW. En la Figura 75 se marca la ubicación del edificio

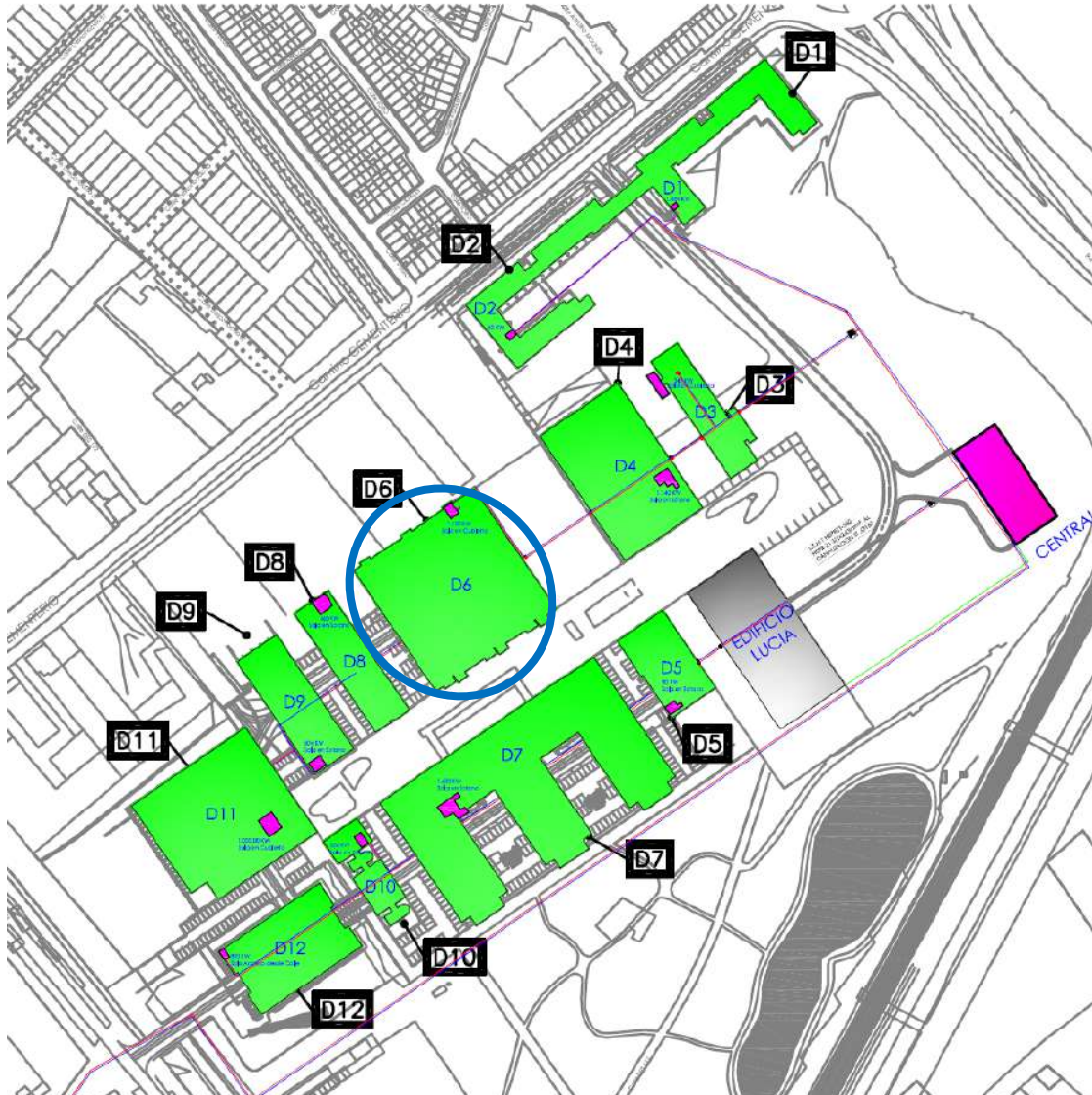


Figura 75. Ubicación del Edificio D6 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_D6_Pronosticado} = -6540,157 + 656,818 \times \text{GD15_30min}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 45 y en la Tabla 46, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 45. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D6

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D6	GD15_30min	-6.540,157	656,818	0,995	0,989

Tabla 46. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D6

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 76, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

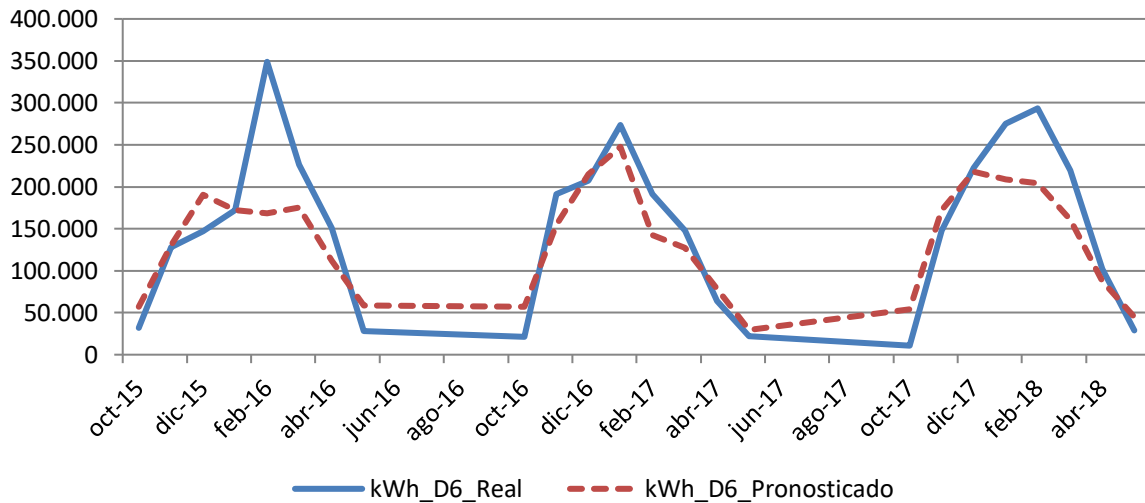


Figura 76. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D6. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en las Tabla 47

Tabla 47. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D6

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D6	-13,8%	No	-5,9%	No	-11,5%	No	-10,6%	No

En la Figura 77, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D6, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

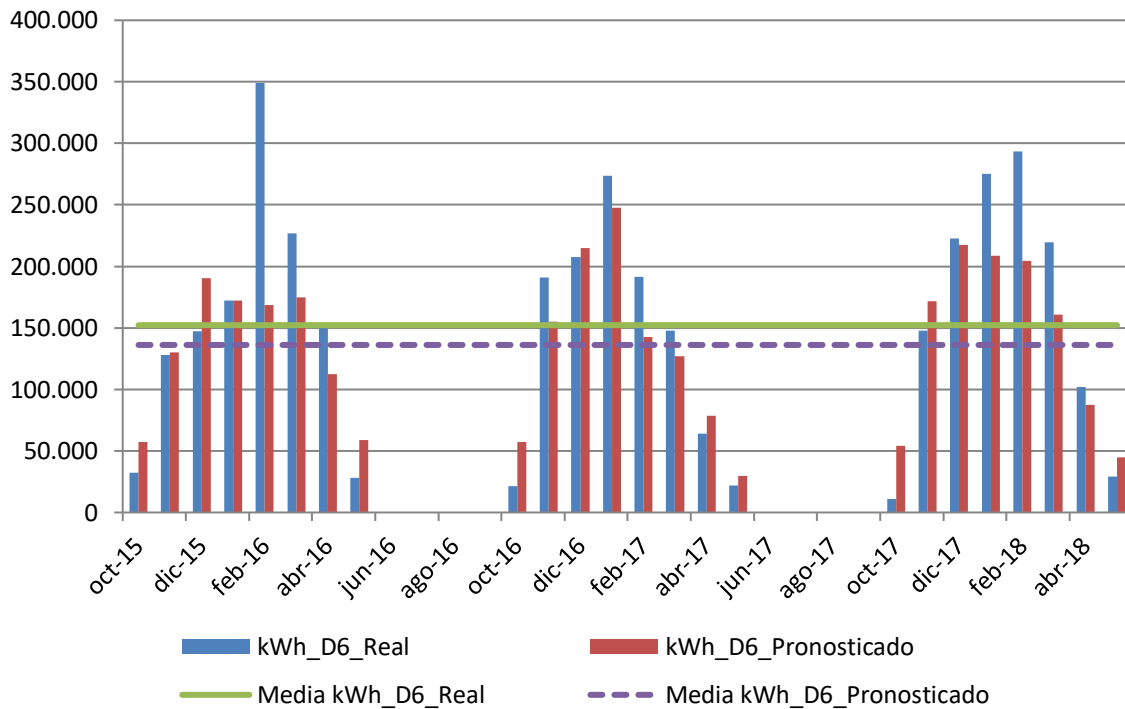


Figura 77. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6

En la Figura 78, se observa el consumo real del Edificio D6, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse encontrado diferencias significativas entre ambos consumos.

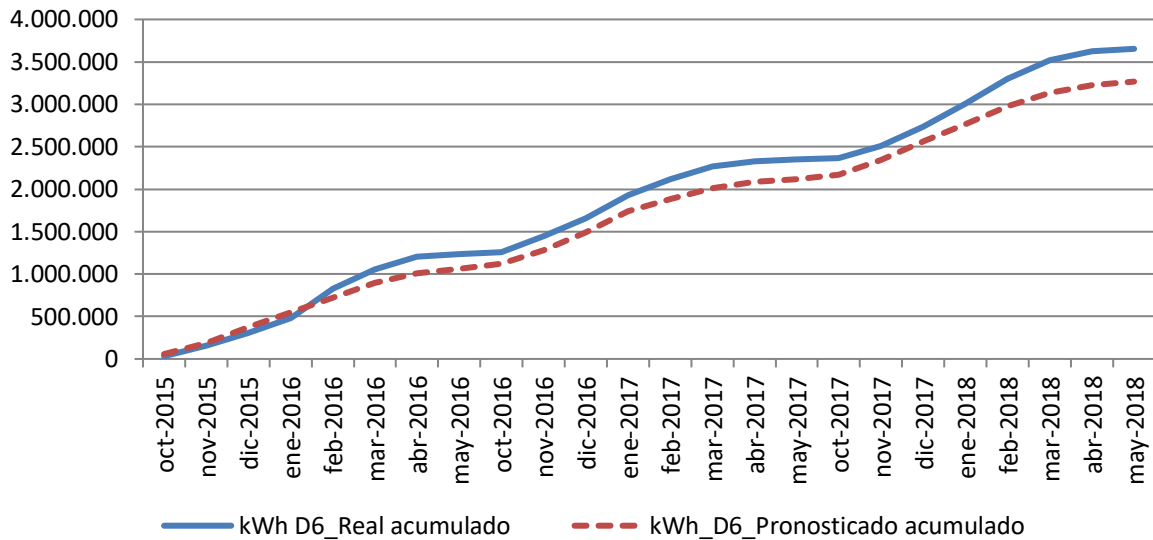


Figura 78. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en las Tabla 48

Tabla 48. Resumen de resultados. Edificio D6

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	0%	0 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	0%	0 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	86,9%	800 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02719€/kWh	17.644 €

4.7. Edificio D7. Telecomunicaciones e Informática

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1997, cuenta con una superficie construida de 20.179 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante seis calderas de gas natural de 326 kW cada una, lo que hace una potencia total de 1.956 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 1.620 kW. En la Figura 79 se marca la ubicación del edificio

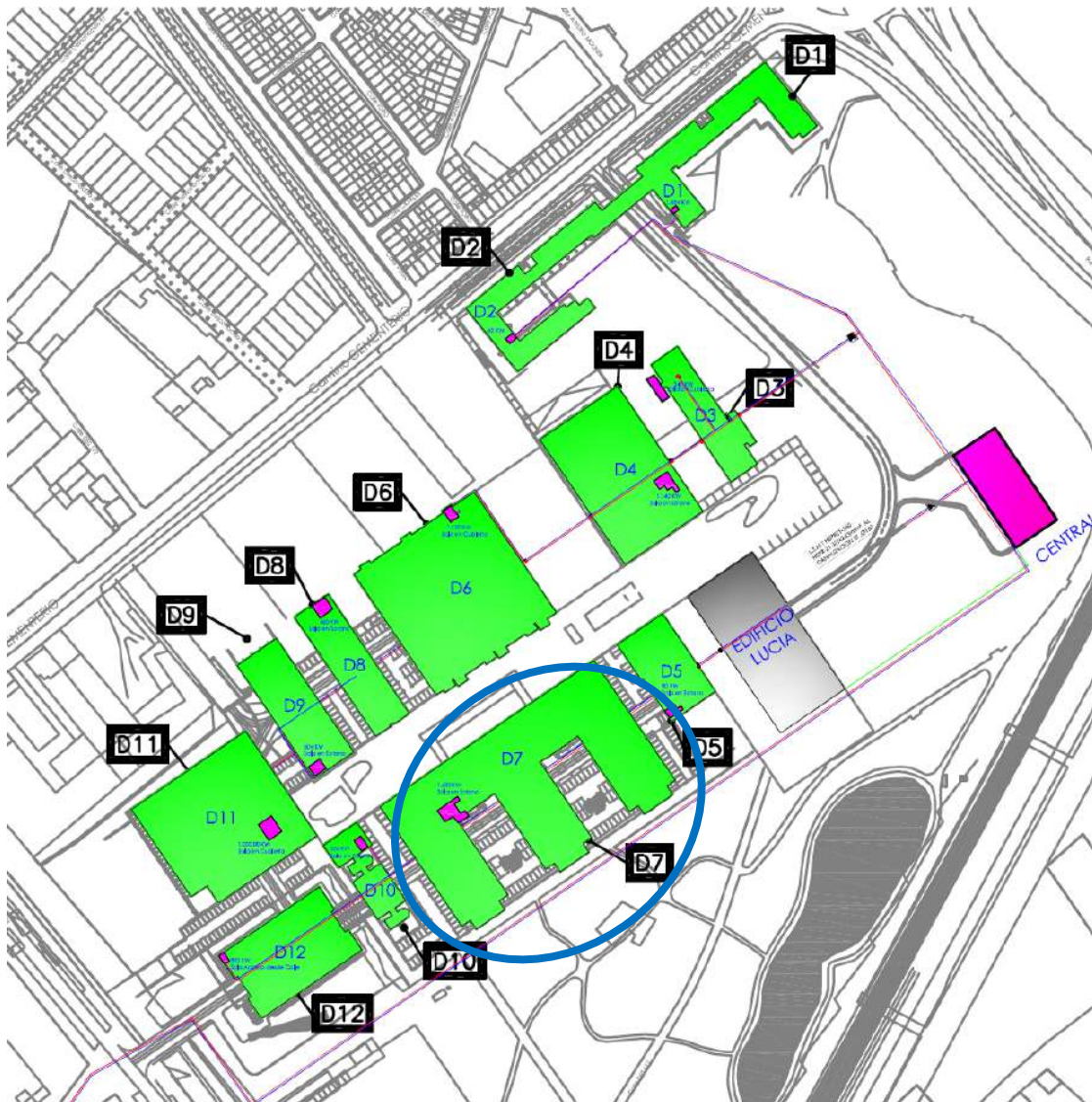


Figura 79. Ubicación del Edificio D7 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_D7_Pronosticado} = -6543,072 + 733,335 \times \text{GD15_30min}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 49 y en la Tabla 50, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 49. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D7

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D7	GD15_30min	-6.543,072	733,335	0,996	0,991

Tabla 50. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D7

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 80, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

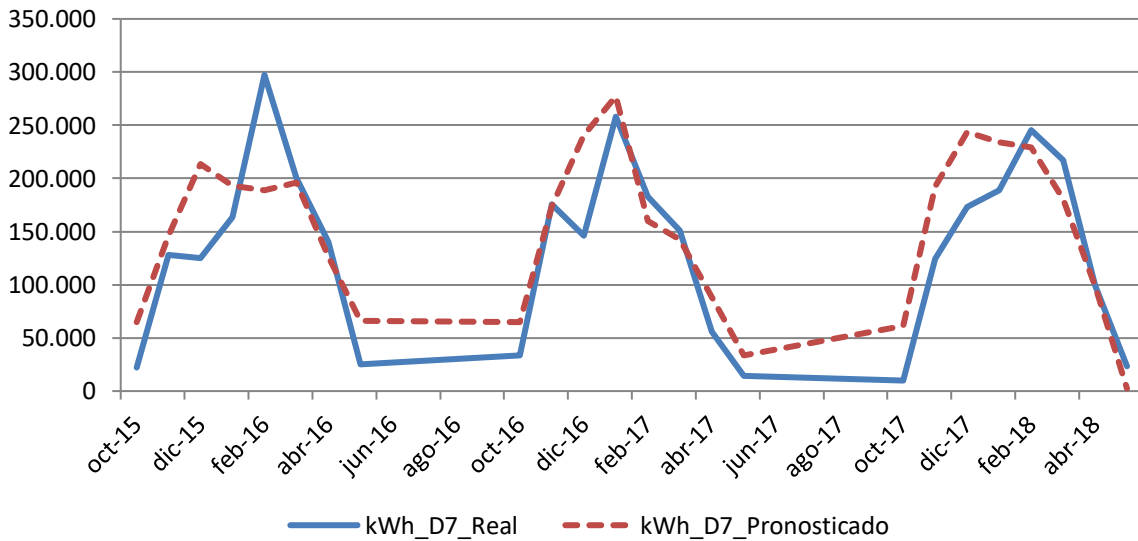


Figura 80. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D7. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en las Tabla 51

Tabla 51. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D7

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D7	8,5%	No	16,2%	No	14,9%	No	13,1%	No

En la Figura 81, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D7, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

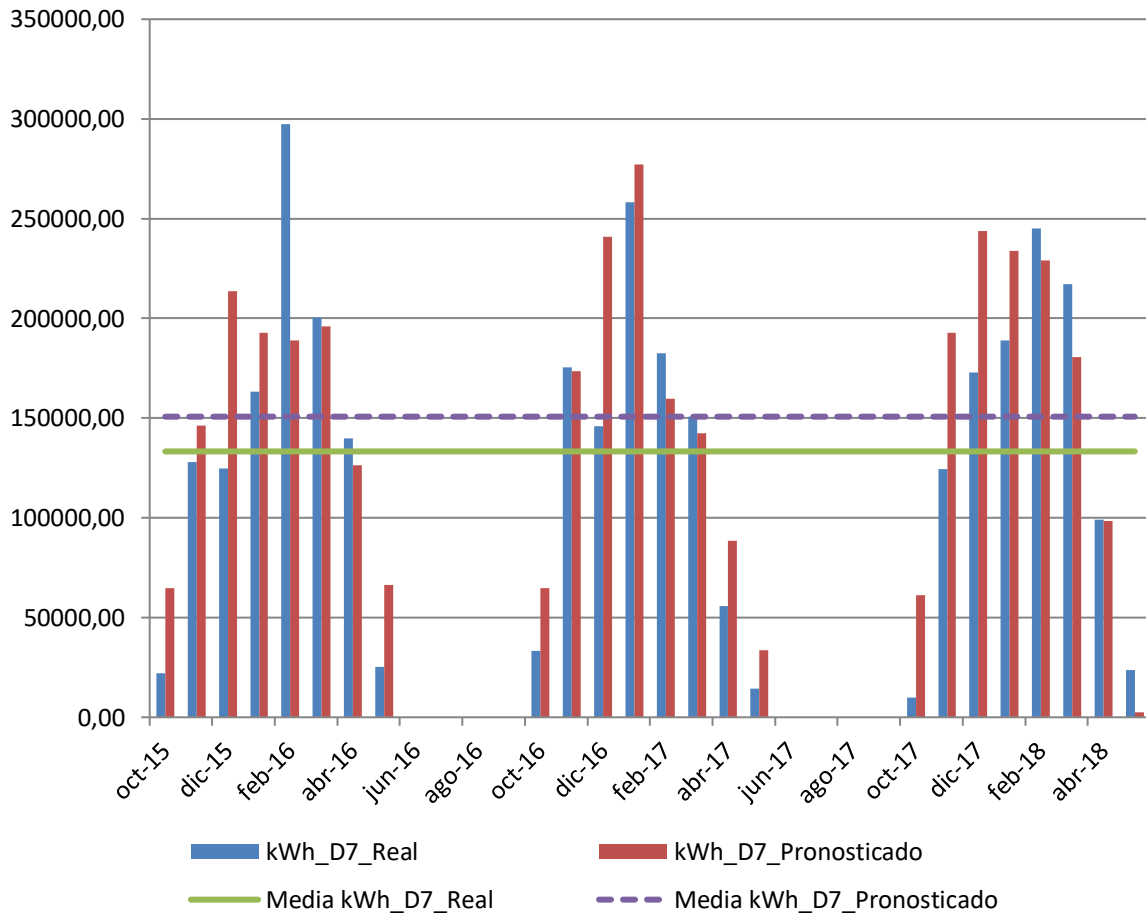


Figura 81. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7

En la Figura 82, se observa el consumo real del Edificio D7, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse encontrado diferencias significativas entre ambos consumos.

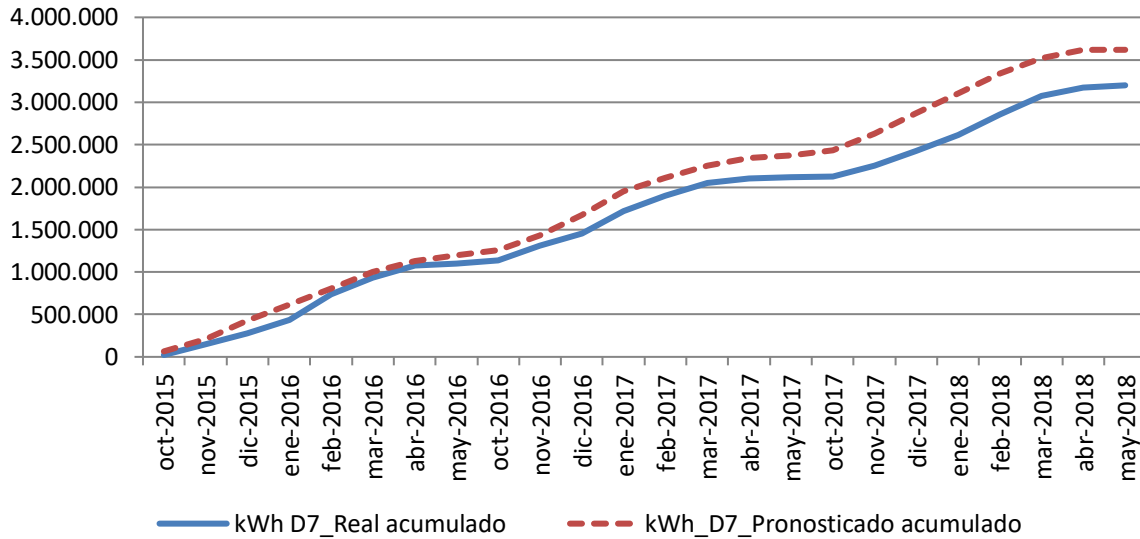


Figura 82. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 52

Tabla 52. Resumen de resultados. Edificio D7

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	0%	0 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	0%	0 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	87,3%	704 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02719€/kWh	15.438 €

4.8. Edificio D8. Edificio de Química Fina y Materiales Avanzados. QUIFIMA

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 2008, cuenta con una superficie construida de 5.610 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de 233 kW cada una, lo que hace una potencia total de 466 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 460 kW. En la Figura 83 se marca la ubicación del edificio



Figura 83. Ubicación del Edificio D8 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

Modelo 1: $kWh_{D8} = 91.484,519 - 5.414,103 \times T_{med}$

Modelo 2: $kWh_{D8} = 63.357,055 - 4.991,184 \times T_{med} + 8.950,19 \times V_{viento_diurna}$

El resumen de los modelos, con los coeficientes de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 53 y en la Tabla 54, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 53. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D8

	Variables independientes	Constante	B	R	R ²
D8_Modelo 1	Tmed	91.484,519	-5.414,103	-0,906	0,821
D8_Modelo 2	Tmed / V_diurna	63357,055	-4991,184 / 8950,19	-0,945	0,894

Tabla 54. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D8

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo 1	Modelo 2
1. Linealidad de las variables	Cumple	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple	Cumple
5. Falta de multicolinealidad entre las variables independientes.		Cumple

En la Figura 84, se representan los consumos reales y los pronosticados con los modelos de regresión obtenidos, en kWh.

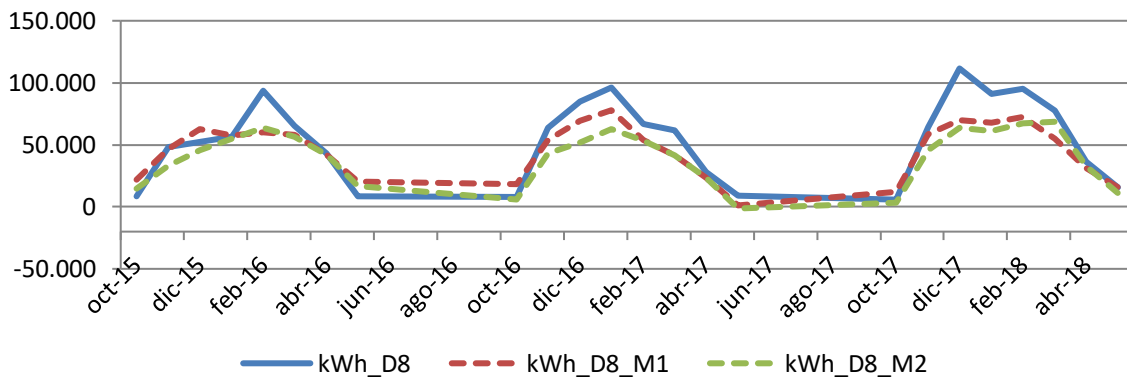


Figura 84. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D8. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en las Tabla 55

Tabla 55. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D8

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D8_Modelo 1	-1,7%	No	-18,8%	SI	-23,4%	SI	-15,6%	SI
D8_Modelo 2	-13,0%	No	-31,2%	SI	-29,0%	SI	-25,0%	SI

En la Figura 85 se grafican los consumos reales y pronosticados para el periodo Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D8, y las medias de dichos consumos.

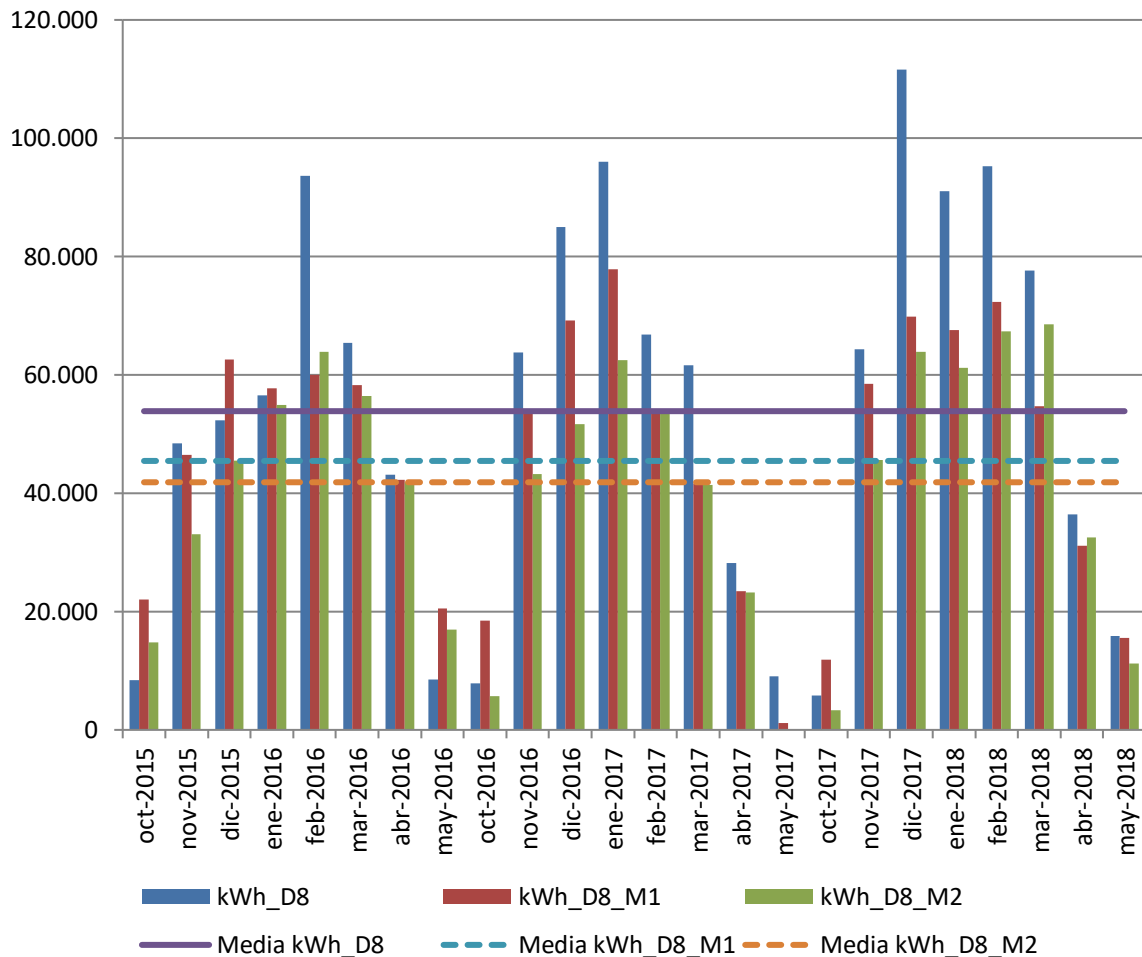


Figura 85. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8

En la Figura 86, se observa el consumo real del Edificio D8, en comparación con el consumo pronosticado acumulado con el Modelo 1 y Modelo 2 que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

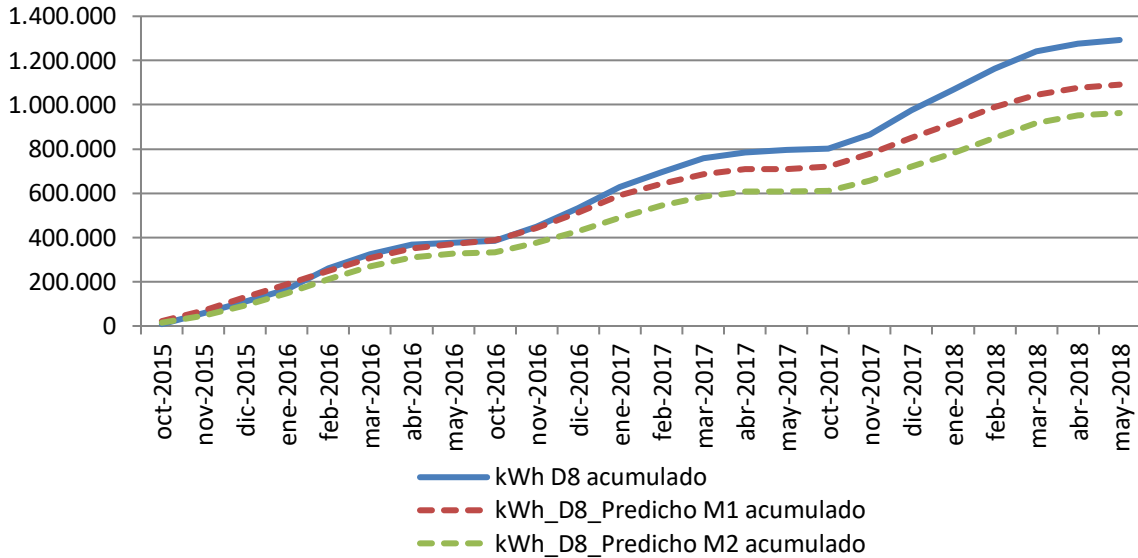


Figura 86. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 56

Tabla 56. Resumen de resultados. Edificio D7

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018. Utilizando el Modelo 2 (por ser el de mayor coeficiente de correlación)	-25%	-41.853 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-33,4%	-321.233 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	82,7%	201 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02015 €/kWh	4.649 €

4.9. Edificio D9. Gimnasio de la UVA

Edificio de tipo deportivo que empezó a funcionar en el año 2001, cuenta con una superficie construida de 3.673 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante cuatro calderas de gas natural de 127 kW cada una, lo que hace una potencia total de 508 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 504 kW. En la Figura 87 se marca la ubicación del edificio

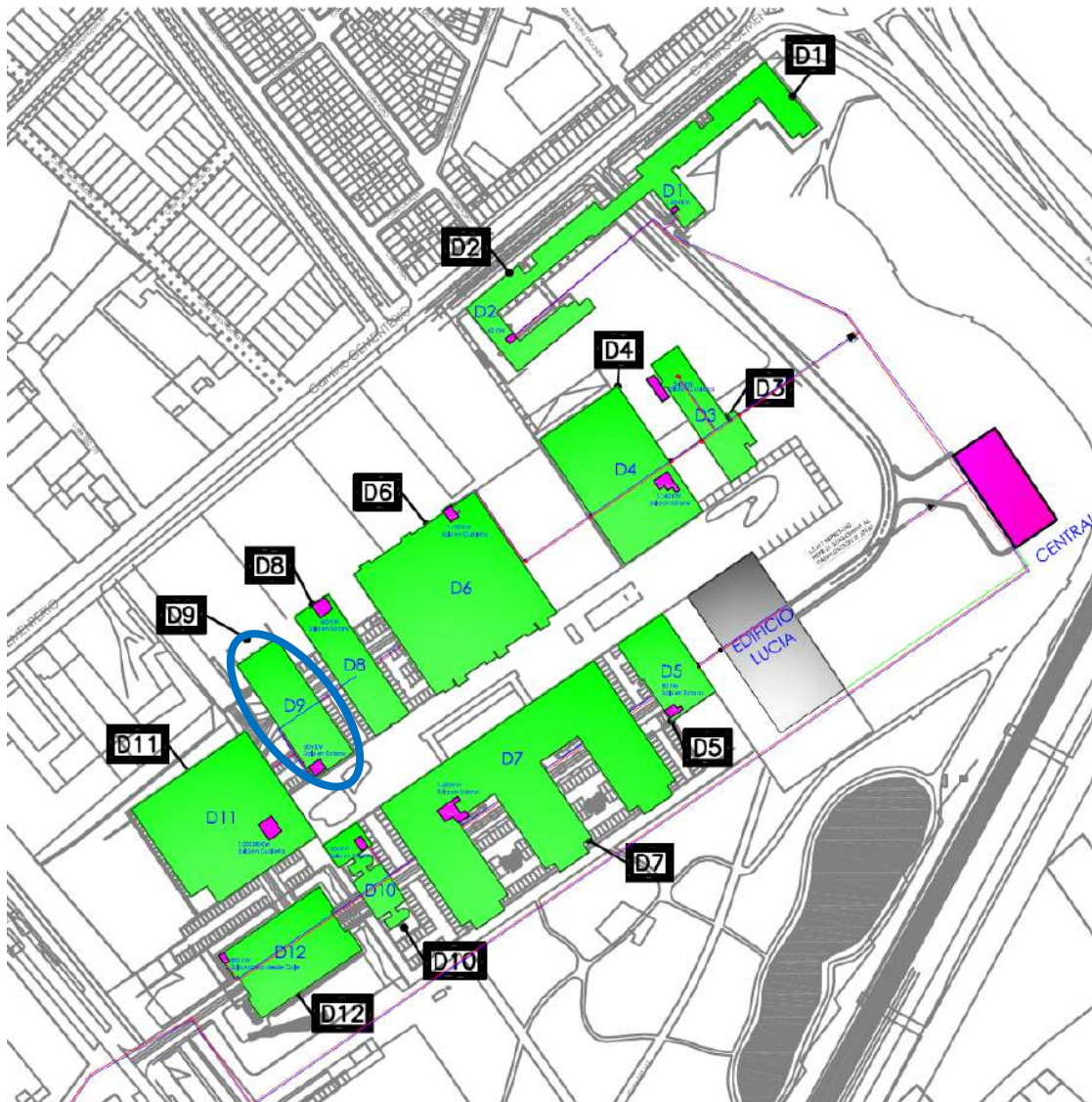


Figura 87. Ubicación del Edificio D9 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_D9_Pronosticado} = -654,602 + 139,864 \times \text{GD15_30min}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 57 y en la Tabla 58, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 57. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D9

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D9	GD15_30min	-654,602	139,864	0,999	0,998

Tabla 58. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D9

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 88, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

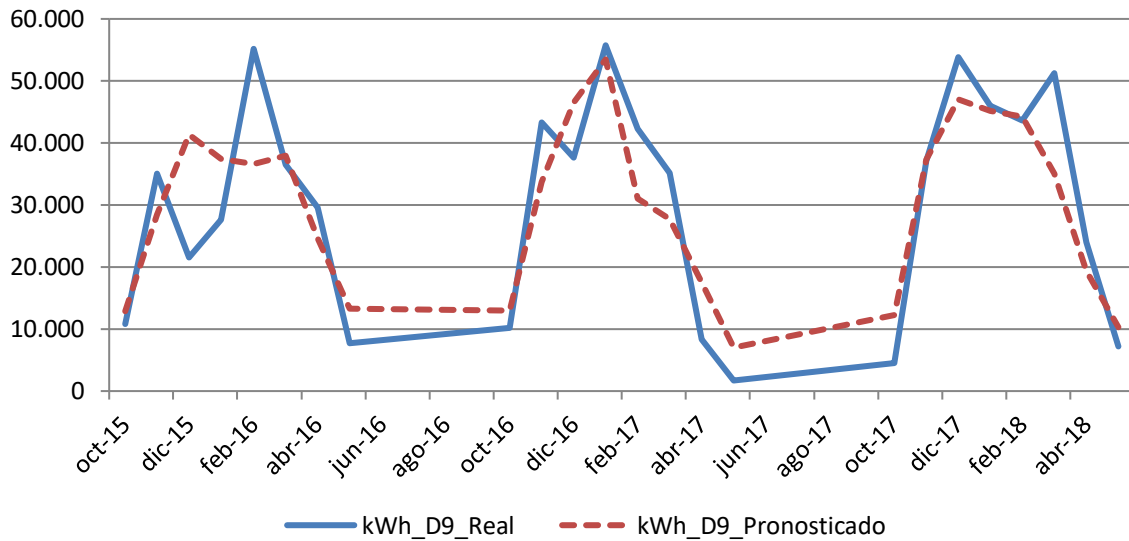


Figura 88. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D9. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 59

Tabla 59. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D7

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D9	3,8%	No	-1,8%	No	-6,2%	No	-1,7%	No

En la Figura 89, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D9, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

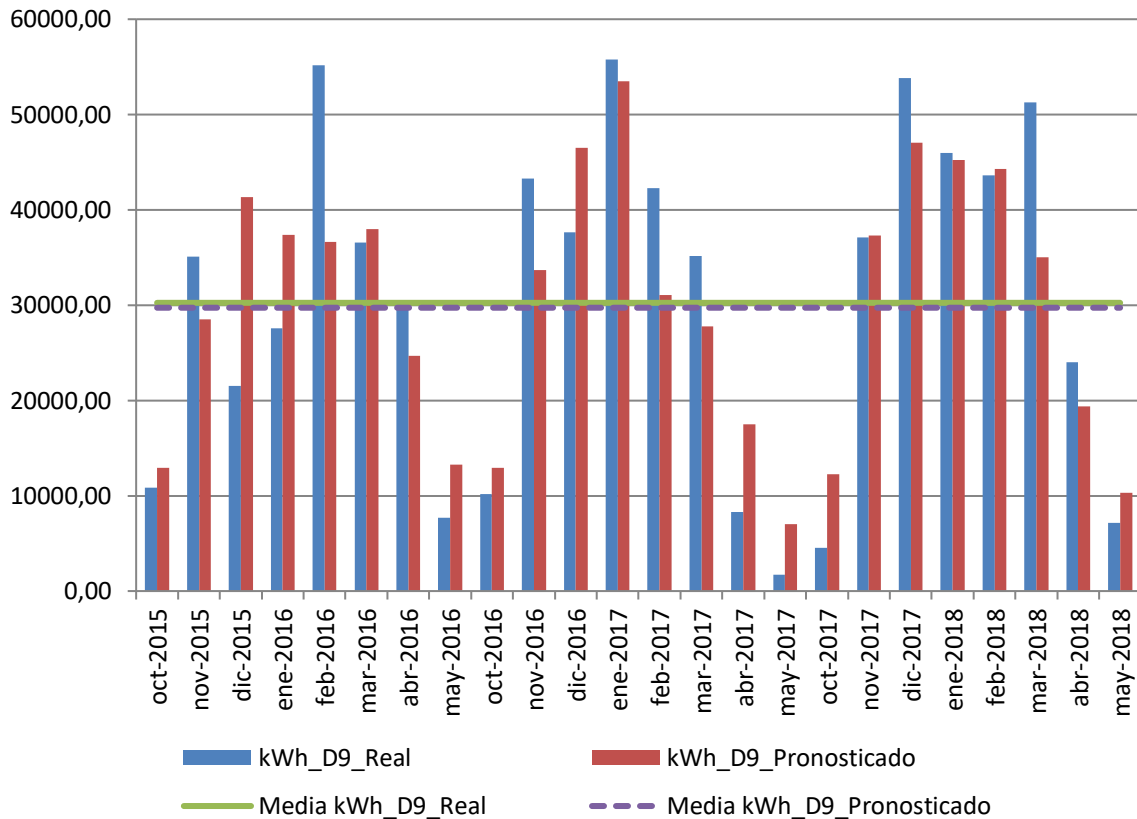


Figura 89. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9

En la Figura 90, se observa el consumo real del Edificio D9, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse encontrado diferencias significativas

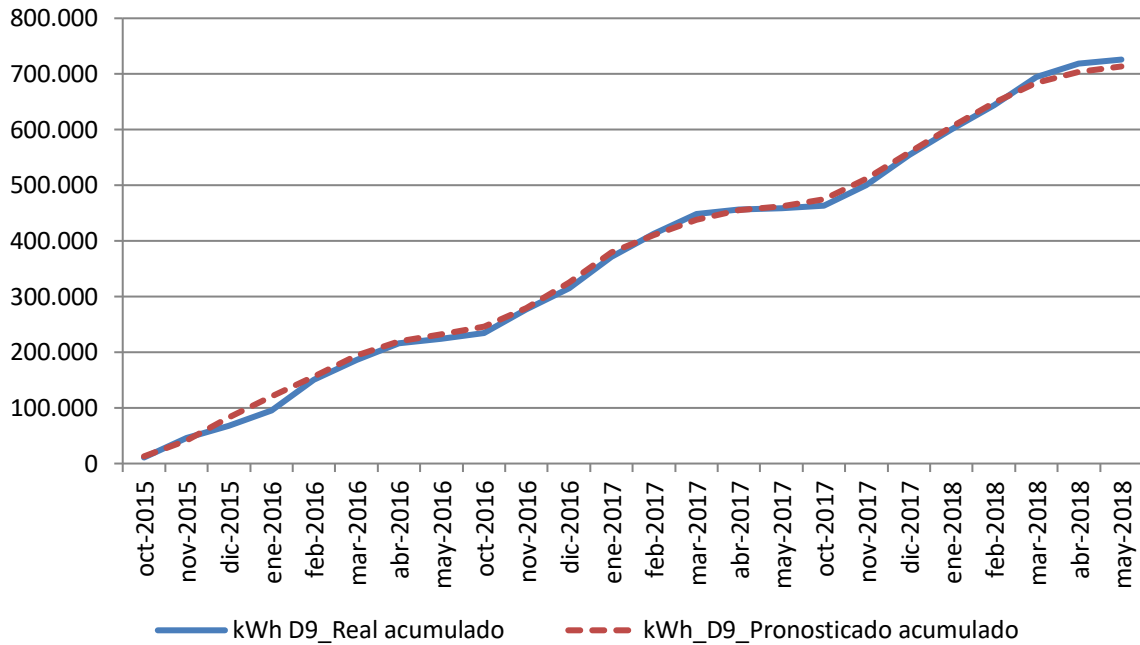


Figura 90. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 60

Tabla 60. Resumen de resultados. Edificio D9

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	0%	0 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	0%	0 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	87,9%	161 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02728€/kWh	3.496 €

4.10. Edificio D10. Centro de Idiomas

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1996, cuenta con una superficie construida de 5.636 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante una caldera de gas natural de 326 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 326 kW. En la Figura 91 se marca la ubicación del edificio.

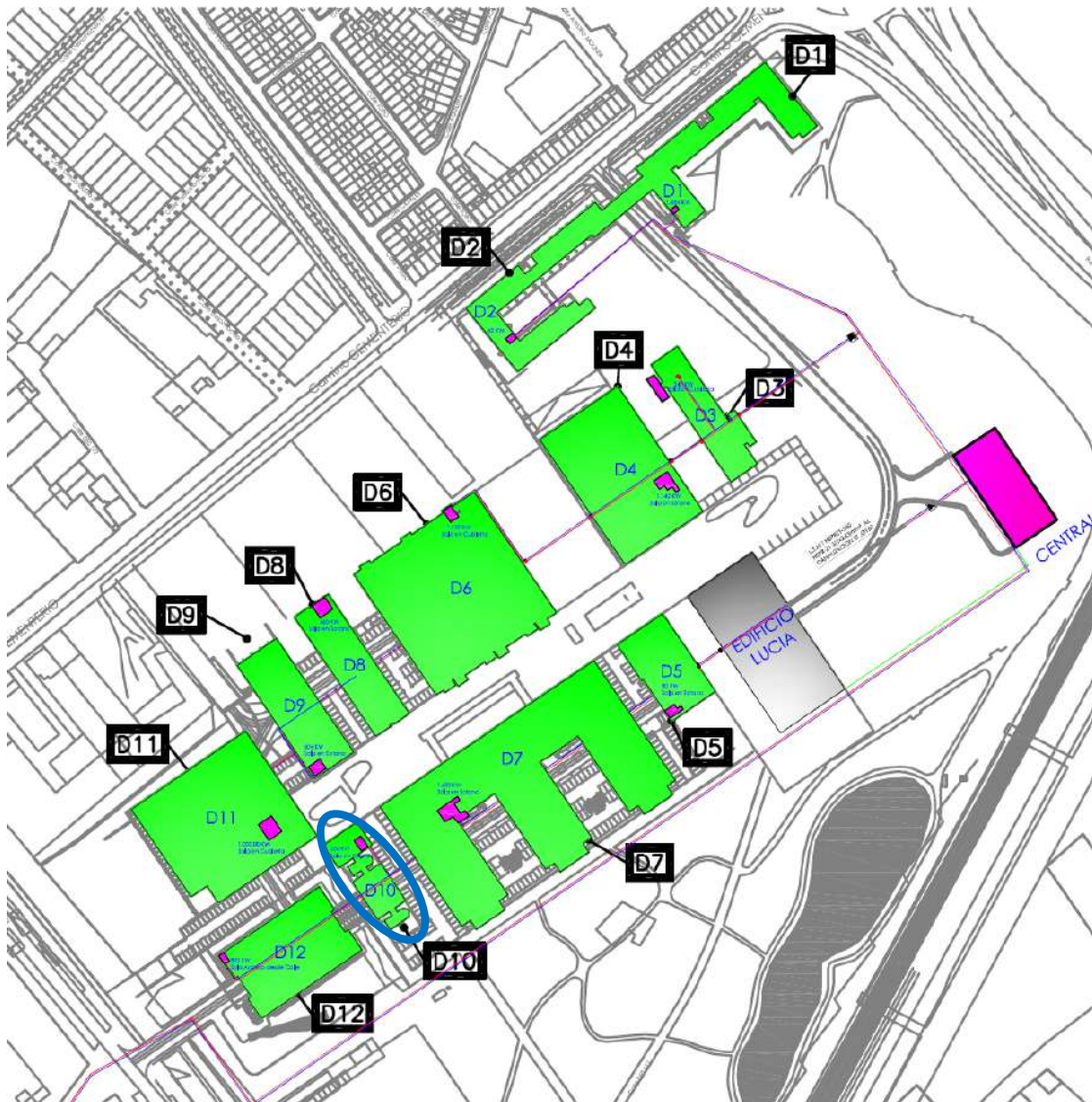


Figura 91. Ubicación del Edificio D10 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_D10_Pronosticado} = 66791,063 - 4393,782 \times T_med$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 61 y en la Tabla 62, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 61. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D10

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D10	T_med	66.791,063	-4.393,782	-0,896	0,802

Tabla 62. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D10

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 92, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

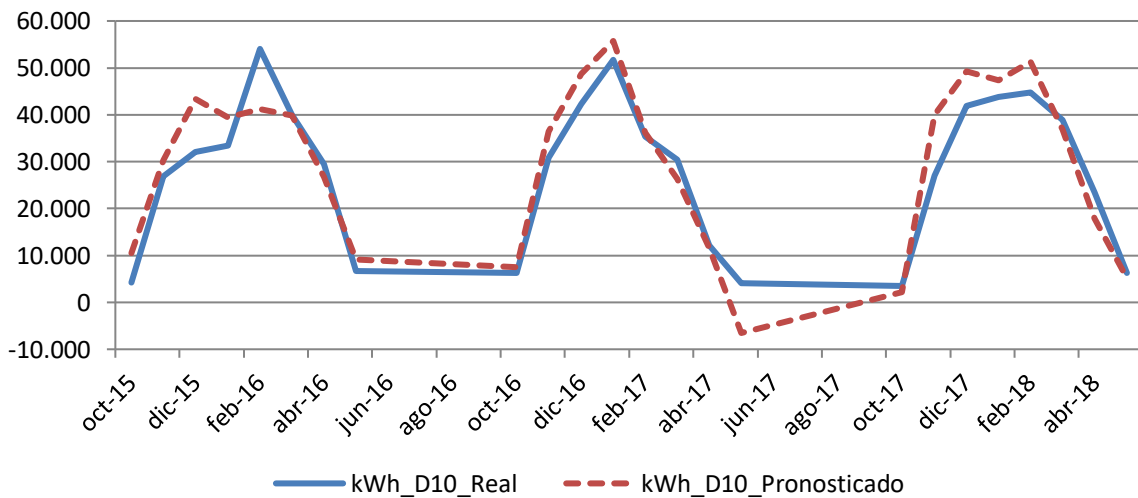


Figura 92. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D10. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 63

Tabla 63. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D10

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D10	6,1%	No	6,6%	No	8,9%	No	7,2%	No

En la Figura 93, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D10, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

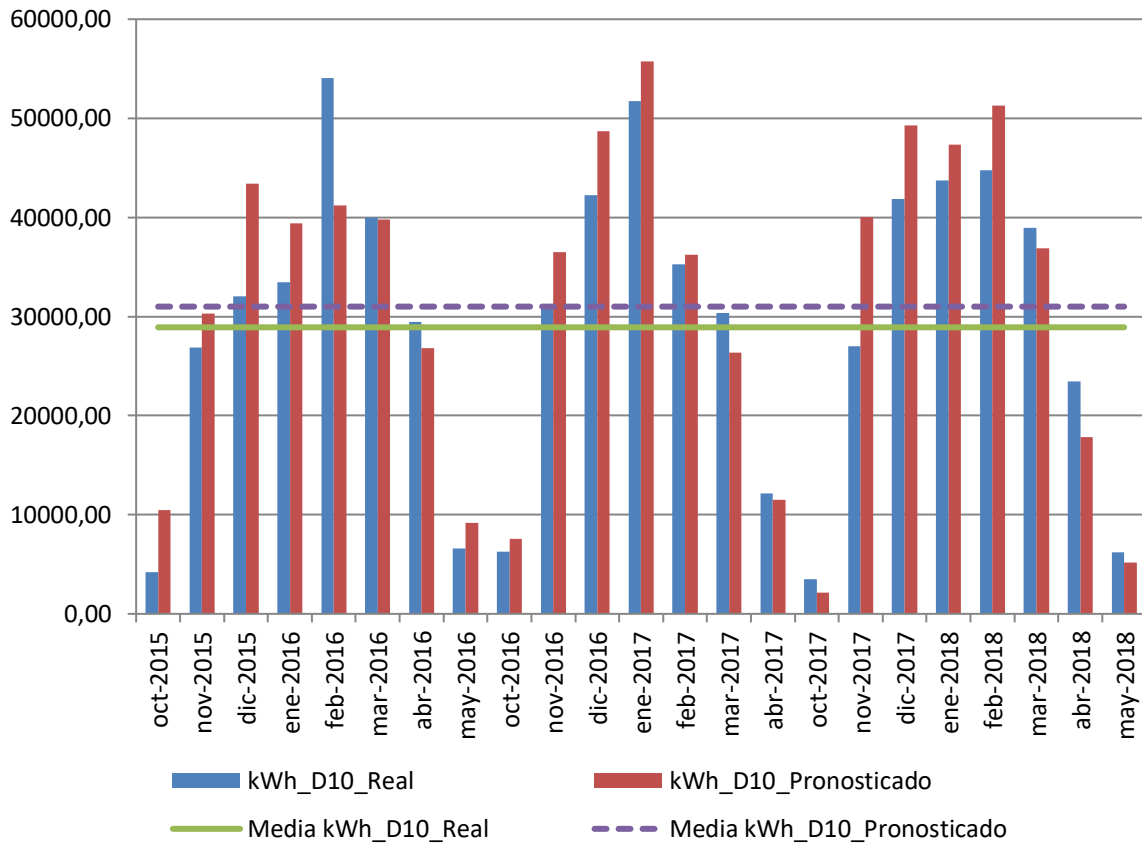


Figura 93. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10

En la Figura 94, se observa el consumo real del Edificio D10, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse encontrado diferencias significativas.

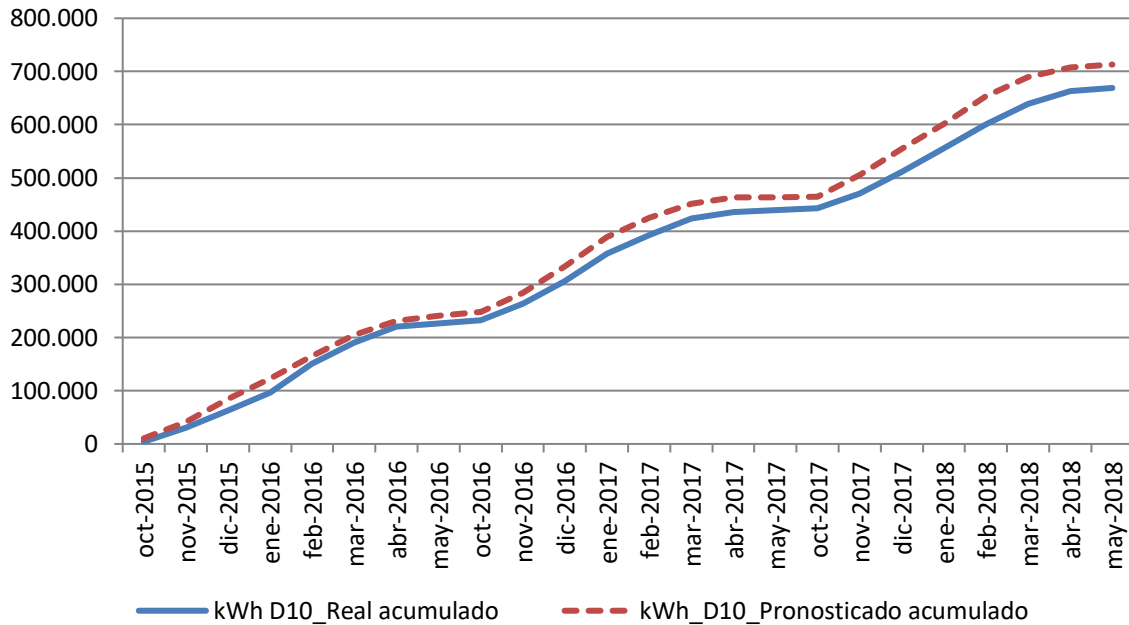


Figura 94. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 64

Tabla 64. Resumen de resultados. Edificio D10

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	0%	0 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	0%	0 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	88,2%	149 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02728€/kWh	3.223 €

4.11. Edificio D11. Facultad de Educación y Trabajo Social

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 2001, cuenta con una superficie construida de 14.943 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de 500 kW cada una, lo que hace un total de 1.000 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 1000 kW. En la Figura 95 se marca la ubicación del edificio.

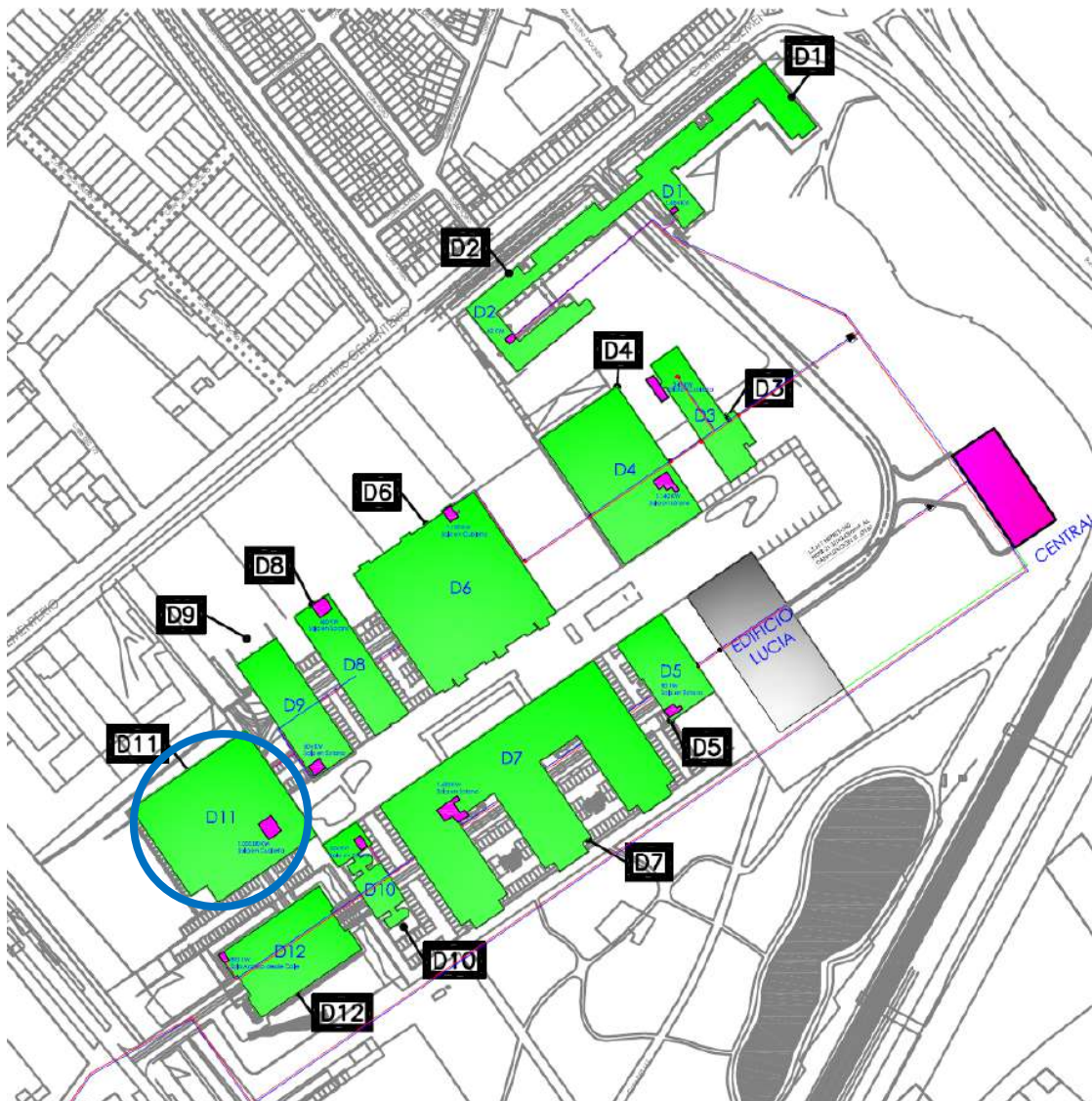


Figura 95. Ubicación del Edificio D11 en el croquis del campus Miguel Delibes

Los modelos encontrados para predecir el consumo térmico del Edificio, fueron

Modelo 1: $kWh_D11 = 187.840,052 - 12.648,948 \times T_med$

Modelo 2: $kWh_D11 = 630672,573 - 38572,601 Tmed - 1044,773 GD15_30min$

El resumen de los modelos, con los coeficientes de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 65 y en la Tabla 66, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 65. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D11

	Variables independientes	Constante	B	R	R ²
D11_Modelo 1	Tmed	187.840,052	-12.648,948	-0,898	0,807
D11_Modelo 2	Tmed / GD15_30min	630672,573	-38572,601 / -1044,773	-0,931	0,866

Tabla 66. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D11

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo 1	Modelo 2
1. Linealidad de las variables	Cumple	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple	Cumple (*)
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple	Cumple
5. Falta de multicolinealidad entre las variables independientes.		No Cumple

(*) Existe cierta correlación en los residuos

Se rechaza el modelo 2, al no cumplir todos los supuestos de la regresión lineal

En la Figura 96, se representan los consumos reales y los pronosticados con los modelos de regresión obtenidos, en kWh.

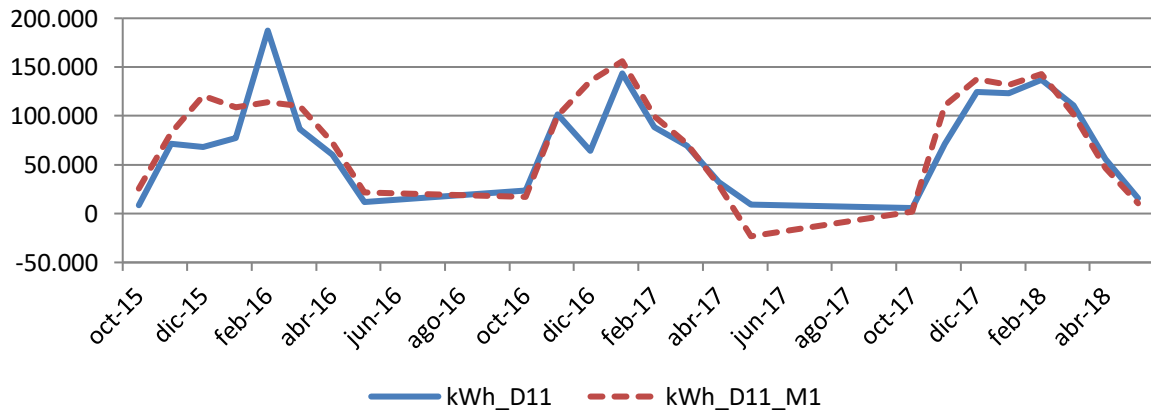


Figura 96. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D11. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 67

Tabla 67. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D11

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D11	14,8%	No	16,6%	No	6,1%	No	12,1%	No

En la Figura 97, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D11, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

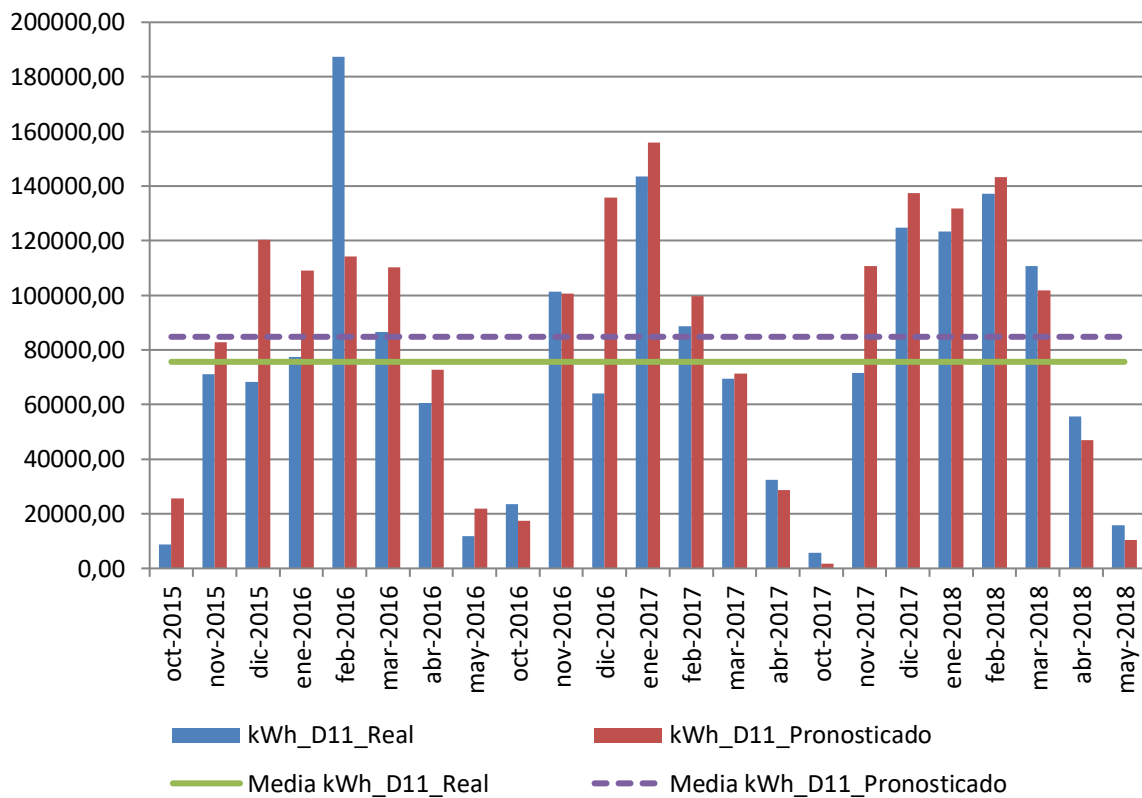


Figura 97. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11

En la Figura 98, se observa el consumo real del Edificio D11, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y si se hubieran encontrado diferencias significativas.

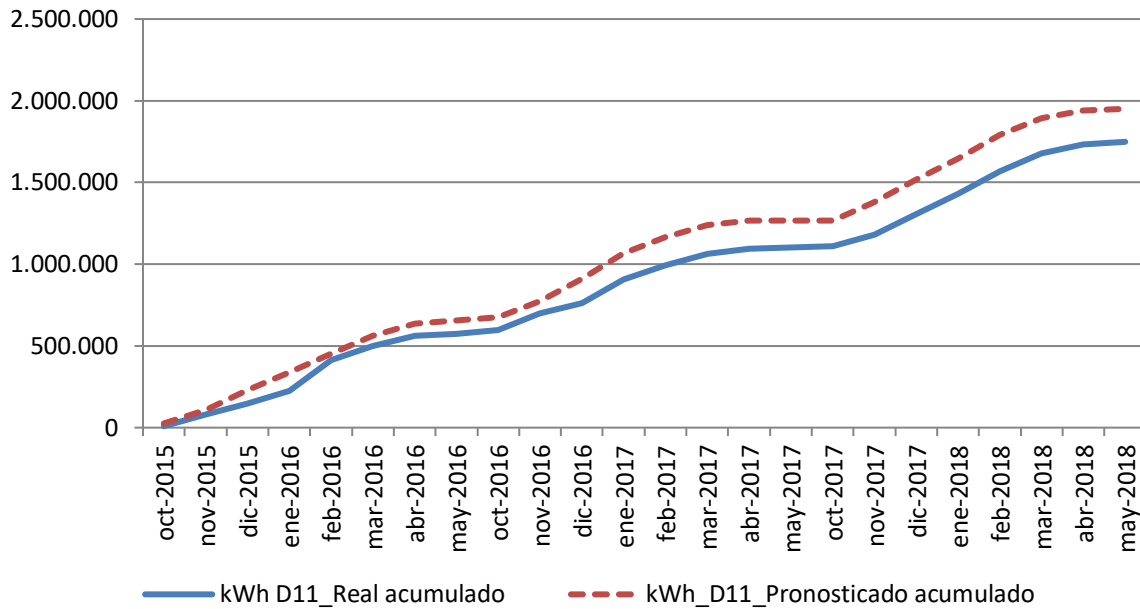


Figura 98. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 68

Tabla 68. Resumen de resultados. Edificio D11

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	0%	0 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	0%	0 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	84,4%	372 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02710€/kWh	8.445 €

4.12. Edificio D12. Edificio de I+D

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 2007, cuenta con una superficie construida de 7.412 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de una potencia de 401 kW, lo que suma un total de 802 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 802 kW. En la Figura 99 se marca la ubicación del edificio.

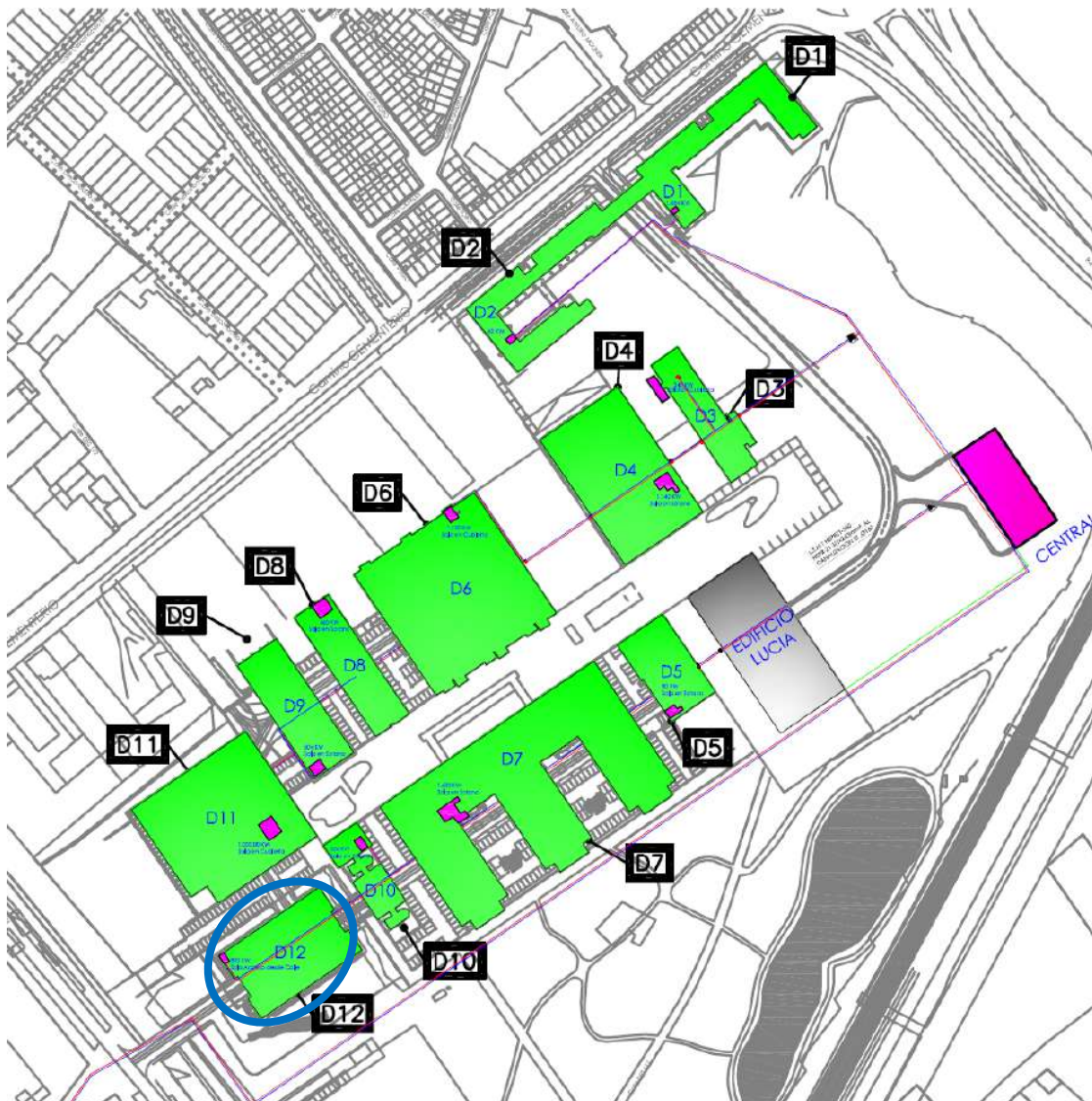


Figura 99. Ubicación del Edificio D12 en el croquis del campus Miguel Delibes

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_D12_Pronosticado} = -663,549 + 173,214 \times \text{GD15_30min}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson[®] y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 69 y en la Tabla 70, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 69. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D12

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
D12	GD15_30min	-663,549	173,214	0,999	0,998

Tabla 70. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D12

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 100, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

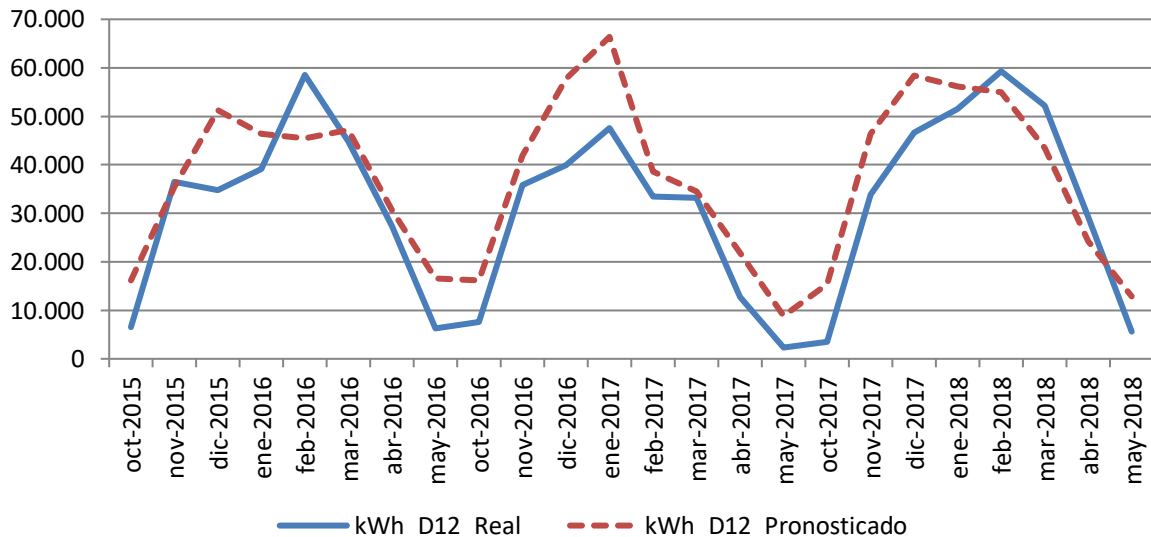


Figura 100. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D12. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 71

Tabla 71. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D12

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D12	13,8%	No	34,6%	SI	10,6%	No	18,5%	SI

En la Figura 101, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio D12, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

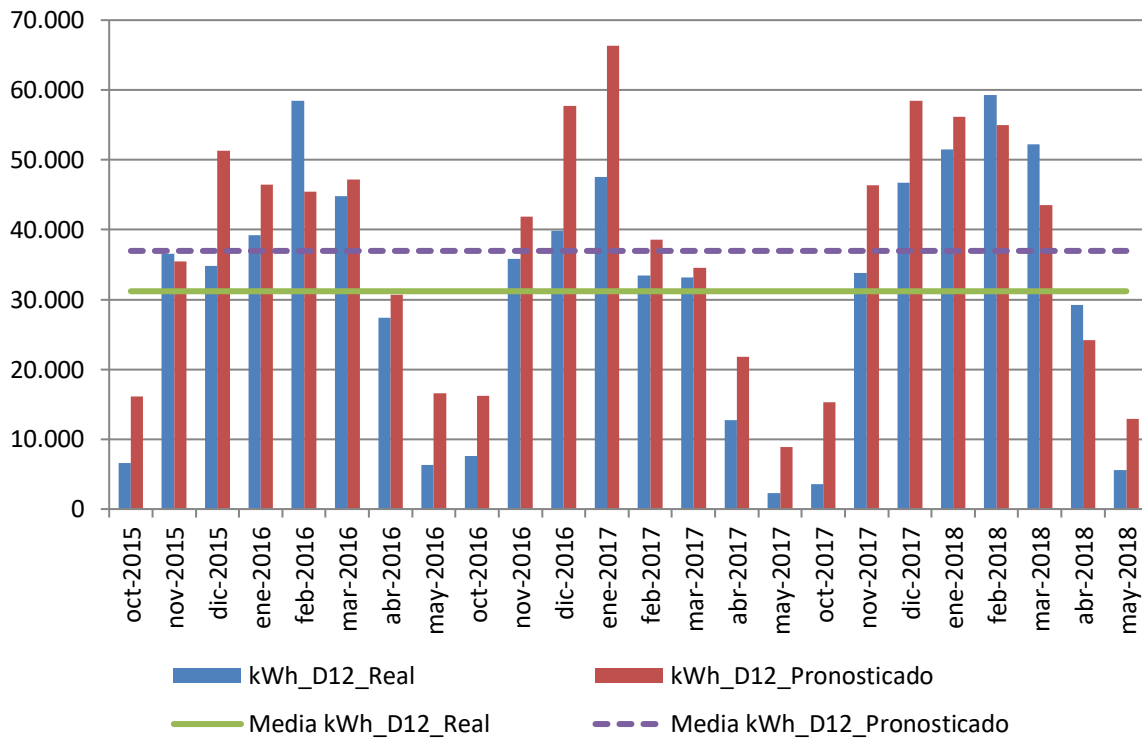


Figura 101. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12

En la Figura 102, se observa el consumo real del Edificio D12, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

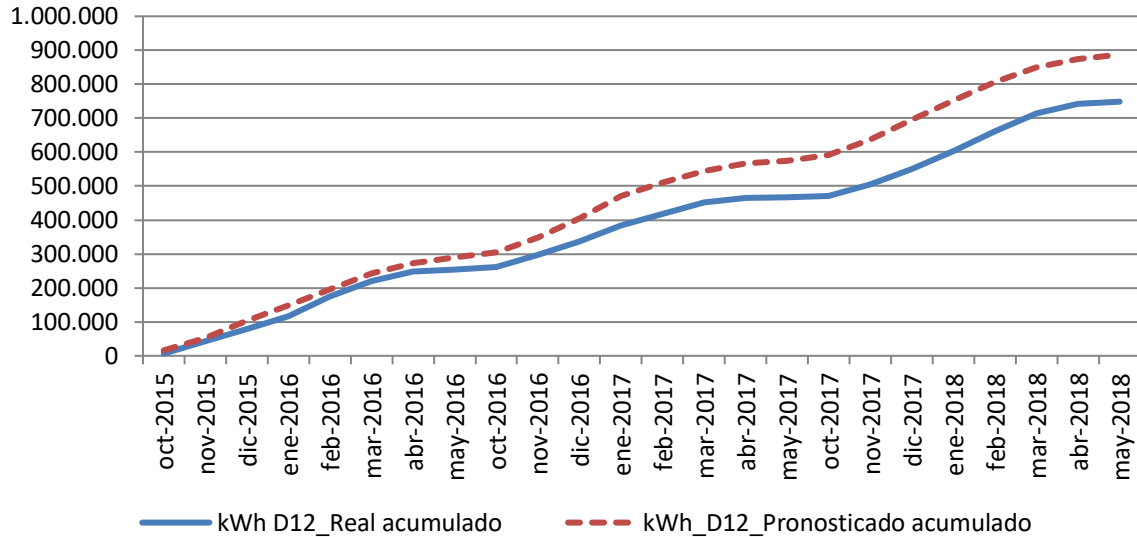


Figura 102. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 72

Tabla 72. Resumen de resultados. Edificio D12

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	18,5%	5.778 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	15,6%	138.666 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	90,1%	201 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,03256€/kWh	4.306 €

4.13. Resultados y discusión

En la Tabla 73, se muestran los modelos de línea base encontrados para los 12 edificios del Campus Miguel Delibes. Para todos los edificios se obtuvieron modelos válidos de regresión simple, dado que cumplieron todos los supuestos estadísticos de la regresión lineal y para dos de ellos, además se hallaron modelos de regresión multivariable, recopilados en la Tabla 74. La regresión múltiple encontrada para el Edificio D11, no resultó válida por existir multicolinealidad entre las dos variables independientes.

Cinco de los modelos de regresión simple (41,6%), tuvieron como variable independiente la Temperatura media y los siete restantes (58,3%), tuvieron a los Grados día Base 15 obtenidos con datos cada 30 minutos como variable independiente. El resto de las variables climáticas analizadas no mostraron influencias significativas en el consumo de los edificios de manera lineal.

Tabla 73. Resumen de modelos de regresión simple. Campus Miguel Delibes

Edificio	Variable independiente	Constante	B	R	R ²
D1	Tmed	391.037,854	-23.838,939	-0,899	0,808
D2	GD15	-663,338	38,971	0,985	0,970
D3	GD15	-6.854,944	192,510	0,921	0,848
D4	Tmed	271.046,123	-17.453,026	-0,940	0,888
D5	GD15	-653,894	56,535	0,993	0,986
D6	GD15	-6.540,157	656,818	0,995	0,989
D7	GD15	-6.543,072	733,335	0,996	0,991
D8	Tmed	91.484,519	-5.414,103	-0,906	0,821
D9	GD15	-654,602	139,864	0,999	0,998
D10	Tmed	66.791,063	-4.393,782	-0,896	0,802
D11	Tmed	187.840,052	-12.648,948	-0,898	0,807
D12	GD15	-663,549	173,214	0,999	0,998

Tabla 74. Resumen de modelos de regresión múltiple. Campus Miguel Delibes

	Variable independiente 1	Variable independiente 2	Constante	B1	B2	R	R ²
D1	Tmed	V_nocturna	271.370,906	-20.045,184	50568,513	-0,931	0,866
D8	Tmed	V_diurna	63357,055	-4991,184	8950,19	0,945	0,894
D11 (*)	Tmed	GD15	630672,573	-38572,601	-1044,773	-0,931	0,866

(*) Modelo no válido. Multicolinealidad entre las variables

Los dos modelos válidos encontrados de regresión múltiple correlacionaron como la Temperatura media y con la velocidad del viento, en el Edificio D1, con la velocidad del viento nocturna y el Edificio D8, con la velocidad del viento diurna. En estos modelos el resto de las variables climáticas tampoco mostraron correlaciones significativas. Los modelos de regresión múltiple presentan mejores coeficientes de correlación y determinación que los modelos de regresión simple para el mismo edificio.

Todos los modelos encontrados tienen un coeficiente de correlación superior a 0,896 en valor absoluto, siendo positivo para los modelos con los Grados día y negativo para los modelos con la Temperatura media. El coeficiente de determinación es superior a 0,802, por lo que con los modelos encontrados se puede predecir más del 80% de los consumos futuros con un error del 5%.

En cuanto a las diferencias entre los consumos reales de las tres temporadas posteriores a la construcción de la red de calor y los consumos estimados o pronosticados que se hubieran obtenido en esas mismas temporadas si los edificios no se hubieran unido a la red de calor, como se muestra en la Tabla 75, se han obtenido diferencias significativas en 7 de los 12 edificios (58,3%), en 5 de los cuales las diferencias fueron positivas (se obtuvo ahorros energéticos con la incorporación a la red) y en los otros dos las diferencias encontradas fueron negativas, se obtuvieron aumentos de consumo.

Los edificios que han obtenido ahorros significativos son:

- D1: Apartamentos Cardenal Mendoza, de tipo residencial, con 17.616 m² construidos, una potencia inicial instalada de 1.554 kW, con 19 años de antigüedad hasta el 2015, un ratio de 166 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 1.878 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 22,5 % en las tres temporadas posteriores a la red de calor
- D2: Biblioteca de los Apartamentos Cardenal Mendoza, de tipo docente, con 464 m² construidos, una potencia inicial instalada de 41 kW, con 19 años de antigüedad hasta el 2015, de 275 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 3.111 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 41,5 % en las tres temporadas posteriores a la red de calor
- D3: Edificio CTTA (Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas) de tipo docente, con 5.487 m² construidos, una potencia inicial instalada de 348 kW, con 8 años de antigüedad hasta el 2015, de 104 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 1.646 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 14,2 % en las tres temporadas posteriores a la red de calor.

- D4. Biblioteca aulario Miguel Delibes, de tipo docente, con 14.541 m² construidos, una potencia inicial instalada de 1.140 kW, con 3 años de antigüedad hasta el 2015, de 142 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 1.807 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 14,9 % en las tres temporadas posteriores a la red de calor
- D12. Edificio I+D. de tipo docente, con 7.412 m² construidos, una potencia inicial instalada de 1.000 kW, con 8 años de antigüedad hasta el 2015, de 81 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 752 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 18,5 % en las tres temporadas posteriores a la red de calor

Los edificios que han obtenido aumentos significativos en su consumo térmico han sido:

- D5: Edificio IOBA (Instituto Universitario de Oftalmología aplicada), de tipo docente, con 4.146 m² construidos, una potencia inicial instalada de 81 kW, con 7 años de antigüedad hasta el 2015, un ratio de 46 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 2.345 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 15,6% en las tres temporadas posteriores a la red de calor
- D8: Edificio QUIFIMA (Química Fina y Materiales Avanzados), de tipo docente, con 5.610 m² construidos, una potencia inicial instalada de 466 kW, con 7 años de antigüedad hasta el 2015, un ratio de 135 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 1.629 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 15,6% en las tres temporadas posteriores a la red de calor

Un resumen de las características de los edificios, se muestra en la Tabla 77

Durante la primera temporada (octubre 2015-mayo 2016), ningún edificio del Campus mostró diferencias significativas en sus consumos. Durante la segunda temporada (octubre 2016 – mayo 2017), 3 edificios mostraron ahorros significativos y 1 aumento significativo en el consumo. Durante la tercera temporada (octubre 2017 – mayo 2018), 2 edificios mostraron ahorros significativos y 1 aumento significativos.

En el total de las tres temporadas, fueron 5 edificios los que presentaron ahorros y 2 los que presentaron aumentos de consumo

En la Tabla 75 y Tabla 76, se muestran en verde los edificios que presentan ahorros significativos en los consumos y en naranja los que presentan aumentos significativos de los mismos.

Tabla 75. Resumen de diferencias significativas regresión simple. Campus Miguel Delibes

Edificio	Variable independiente	% Diferencia 2015- 2016	Significativo	% Diferencia 2016- 2017	Significativo	% Diferencia 2017- 2018	Significativo	% Diferencia 2015- 2018	Significativo
D1	T med	22,7%	SI	27,3%	SI	18,5%	SI	22,5%	SI
D2	GD15	38,2%	No	50,6%	SI	37,0%	SI	41,5%	SI
D3	GD15	5,1%	No	22,1%	No	16,7%	No	14,2%	SI
D4	T med	24,1%	No	13,1%	No	8,8%	No	14,9%	SI
D5	GD15	-23,7%	No	-10,7%	No	-11,3%	No	-15,6%	SI
D6	GD15	-13,8%	No	-5,9%	No	-11,5%	No	-10,6%	No
D7	GD15	8,5%	No	16,2%	No	14,9%	No	13,1%	No
D8	T med	-1,7%	No	-18,8%	SI	-23,4%	SI	-15,6%	SI
D9	GD15	3,8%	No	-1,8%	No	-6,2%	No	-1,7%	No
D10	T med	6,1%	No	6,6%	No	8,9%	No	7,2%	No
D11	T med	14,8%	No	16,6%	No	6,1%	No	12,1%	No
D12	GD15	13,8%	No	34,6%	SI	10,6%	No	18,5%	SI

Los GD15 son los calculados a partir de datos cada 30 minutos

Tabla 76. Resumen de diferencias significativas regresión múltiple. Campus Miguel Delibes

Edificio	Variables independientes	% Diferencia 2015- 2016	Significativo	% Diferencia 2016- 2017	Significativo	% Diferencia 2017- 2018	Significativo	% Diferencia 2015- 2018	Significativo
D1	T med V_nocturna	10,2%	No	11,8%	No	12,4%	No	11,5%	No Normal
D8	GD15 V_diurna	-13,0%	No	-31,2%	SI	-29,0%	SI	-25,0%	SI

Los GD15 son los calculados a partir de datos cada 30 minutos

Tabla 77. Resumen de características de los edificios del Campus Miguel Delibes

	Tipo	kWh total oct-12 – may-14	m ²	kWh/m ²	kW instalados Gas Natural	kW instalados subestación	h funcionamiento a carga nominal durante oct-12 – may14	Años de antigüed ad hasta 2015
D1	Residencial	2.917.883	17.616	165,64	1.554	1.454	1.877,66	19
D2	Docente	127.560	464	274,91	41	42	3.111,22	19
D3	Docente	572.885	5.487	104,41	348	342	1.646,22	8
D4	Docente	2.060.198	14.541	141,68	1.140	1.140	1.807,19	3
D5	Docente	189.987	4.146	45,82	81	80	2.345,52	7
D6	Docente	2.224.169	19.137	116,22	1.162	1.120	1.914,09	6
D7	Docente	2.495.431	20.179	123,66	1.953	1.620	1.275,78	18
D8	Docente	757.645	5.610	135,05	466	460	1.625,85	7
D9	Deportivo	485.432	3.673	132,16	508	504	955,57	14
D10	Docente	495.620	5.636	87,94	326	326	1.520,31	19
D11	Docente	1.355.765	14.943	90,73	1.000	1.000	1.355,77	14
D12	Docente	603.534	7.412	81,43	802	802	752,54	8
DELIBES		14.286.109	118.844	120,21	9.385	8.890	1.522,23	19

La Tabla 78 y Tabla 79, recopilan los consumos de los edificios del Campus Miguel Delibes, se muestran los consumos reales y los estimados o pronosticados con los modelos de regresión validados como línea base del consumo de cada edificio.

Tabla 78. Consumo Real térmico de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh)

REAL	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	TOTAL
oct-12	52.823	2.973	15.679	38.678	5.298	65.093	75.227	28.190	16.335	9.525	15.176	20.755	345.753
nov-12	220.904	8.215	34.701	195.712	12.464	145.750	163.403	44.053	31.692	24.605	121.937	39.191	1.042.627
dic-12	228.313	11.245	47.474	176.685	16.625	194.289	217.741	58.473	42.168	51.330	93.881	52.395	1.190.619
ene-13	239.241	12.064	61.790	191.773	17.744	207.050	231.815	61.638	44.716	43.452	112.357	55.517	1.279.157
feb-13	273.273	11.615	51.895	201.662	17.029	198.500	222.100	71.642	42.732	53.877	146.609	53.024	1.343.958
mar-13	210.397	9.500	35.453	143.416	13.786	160.192	178.875	64.884	34.135	36.141	90.810	42.283	1.019.870
abr-13	219.730	6.534	33.758	118.693	9.765	114.486	128.571	45.407	25.105	23.334	67.242	31.248	823.873
may-13	135.157	5.196	16.401	57.071	7.775	91.192	102.436	20.377	20.021	5.546	35.376	24.925	521.472
oct-13	35.931	3.398	9.887	51.998	5.004	58.407	65.408	21.697	12.629	9.525	7.360	15.683	296.925
nov-13	0	8.280	32.104	103.055	12.654	149.340	168.407	32.562	33.422	24.605	86.849	41.737	693.017
dic-13	322.634	14.205	64.828	225.143	20.880	243.583	272.681	76.564	52.571	51.330	128.882	65.261	1.538.561
ene-14	320.896	11.133	59.681	153.040	16.068	186.405	207.919	67.774	39.501	43.452	140.938	48.884	1.295.691
feb-14	307.368	9.351	53.522	201.660	14.051	165.006	185.496	75.981	36.368	53.877	160.288	45.304	1.308.271
mar-14	165.884	6.636	20.039	116.269	10.258	121.453	137.241	50.114	27.453	36.141	92.685	34.339	818.512
abr-14	156.449	3.899	25.860	53.303	5.701	66.396	74.250	20.141	14.255	23.334	53.233	17.680	514.499
may-14	28.883	3.318	9.813	32.040	4.886	57.028	63.862	18.148	12.328	5.546	2.142	15.308	253.304
oct-15	34.650	810	0	30.770	4.908	32.180	22.220	8.364	10.847	4.183	8.810	6.590	164.332
nov-15	162.230	2.643	28.683	117.720	16.749	128.080	128.080	48.422	35.070	26.851	71.160	36.550	802.238
dic-15	192.680	11.959	50.191	91.520	16.244	147.210	124.770	52.355	21.527	32.026	68.390	34.820	843.692
ene-16	182.730	6.666	38.231	116.430	10.727	172.470	163.370	56.577	27.599	33.481	77.420	39.180	924.881
feb-16	292.080	12.459	68.430	195.806	30.176	348.935	297.336	93.692	55.163	54.047	187.398	58.477	1.693.998
mar-16	195.399	5.239	41.775	132.677	18.666	226.654	200.359	65.365	36.551	39.987	86.570	44.763	1.094.003
abr-16	140.815	3.941	24.655	91.374	13.772	150.969	139.890	43.085	29.596	29.457	60.654	27.410	755.618
may-16	50.295	405	7.268	30.726	7.926	28.051	25.190	8.549	7.715	6.620	11.790	6.310	190.845
oct-16	60.420	165	3.711	28.123	11.119	21.196	33.434	7.817	10.167	6.261	23.413	7.600	213.428
nov-16	185.097	5.063	35.452	138.294	9.643	190.925	175.576	63.818	43.277	30.783	101.456	35.820	1.015.205
dic-16	232.890	7.397	45.615	115.985	17.910	207.496	145.836	84.992	37.629	42.246	64.092	39.872	1.041.961
ene-17	245.060	7.617	47.454	231.678	20.318	273.478	258.264	96.064	55.750	51.733	143.509	47.548	1.478.474
feb-17	181.458	6.987	33.104	137.936	13.128	191.313	182.550	66.871	42.290	35.287	88.654	33.393	1.012.971
mar-17	144.074	7.621	26.179	104.060	12.215	147.550	150.896	61.592	35.130	30.375	69.390	33.195	822.277
abr-17	56.590	3.584	16.672	61.046	8.730	64.206	55.650	28.173	8.288	12.121	32.388	12.700	360.148
may-17	38.400	1.566	12.122	22.428	7.585	22.062	14.320	9.028	1.706	4.111	9.030	2.318	144.676
oct-17	43.056	10	4.697	9.706	7.020	10.750	9.884	5.806	4.566	3.499	5.700	3.530	108.223
nov-17	160.774	4.213	37.870	133.130	11.984	148.032	124.350	64.362	37.102	27.035	71.556	33.788	854.197
dic-17	251.172	10.407	48.468	159.080	15.343	222.510	173.018	111.550	53.819	41.851	124.822	46.710	1.258.751
ene-18	242.664	9.738	48.828	188.850	14.960	275.251	188.888	91.069	45.982	43.756	123.410	51.528	1.324.924
feb-18	246.178	10.737	48.728	198.442	19.556	293.190	245.226	95.311	43.599	44.761	137.100	59.290	1.442.119
mar-18	208.040	7.939	28.432	160.912	15.655	219.610	217.314	77.654	51.291	38.923	110.644	52.218	1.188.633
abr-18	132.930	5.172	19.765	70.510	13.055	102.000	99.014	36.472	24.007	23.478	55.580	29.262	611.245
may-18	53.590	7	13.337	34.320	13.273	29.180	23.570	15.896	7.171	6.241	15.860	5.570	218.015
TOTAL	6.651.155	259.906	1.302.553	4.661.722	520.647	5.877.468	5.694.439	2.050.529	1.211.274	1.164.732	3.104.563	1.351.976	33.850.963

Tabla 79. Consumo Pronosticado térmico de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh)

PRONOST	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	TOTAL
oct-12	52.823	2.973	15.679	38.678	5.298	65.093	75.227	28.190	16.335	9.525	15.176	20.755	345.752
nov-12	220.904	8.215	34.701	195.712	12.464	145.750	163.403	44.053	31.692	24.605	121.937	39.191	1.042.627
dic-12	228.313	11.245	47.474	176.685	16.625	194.289	217.741	58.473	42.168	51.330	93.881	52.395	1.190.619
ene-13	239.241	12.064	61.790	191.773	17.744	207.050	231.815	61.638	44.716	43.452	112.357	55.517	1.279.157
feb-13	273.273	11.615	51.895	201.662	17.029	198.500	222.100	71.642	42.732	53.877	146.609	53.024	1.343.958
mar-13	210.397	9.500	35.453	143.416	13.786	160.192	178.875	64.884	34.135	36.141	90.810	42.283	1.019.872
abr-13	219.730	6.534	33.758	118.693	9.765	114.486	128.571	45.407	25.105	23.334	67.242	31.248	823.873
may-13	135.157	5.196	16.401	57.071	7.775	91.192	102.436	20.377	20.021	5.546	35.376	24.925	521.473
oct-13	35.931	3.398	9.887	51.998	5.004	58.407	65.408	21.697	12.629	9.525	7.360	15.683	296.927
nov-13	0	8.280	32.104	103.055	12.654	149.340	168.407	32.562	33.422	24.605	86.849	41.737	693.015
dic-13	322.634	14.205	64.828	225.143	20.880	243.583	272.681	76.564	52.571	51.330	128.882	65.261	1.538.562
ene-14	320.896	11.133	59.681	153.040	16.068	186.405	207.919	67.774	39.501	43.452	140.938	48.884	1.295.691
feb-14	307.368	9.351	53.522	201.660	14.051	165.006	185.496	75.981	36.368	53.877	160.288	45.304	1.308.272
mar-14	165.884	6.636	20.039	116.269	10.258	121.453	137.241	50.114	27.453	36.141	92.685	34.339	818.512
abr-14	156.449	3.899	25.860	53.303	5.701	66.396	74.250	20.141	14.255	23.334	53.233	17.680	514.501
may-14	28.883	3.318	9.813	32.040	4.886	57.028	63.862	18.148	12.328	5.546	2.142	15.308	253.302
oct-15	85.453	3.119	11.827	47.321	4.832	32.180	22.220	14.797	10.847	4.183	8.810	16.146	261.734
nov-15	193.119	7.457	33.257	126.145	11.126	128.080	128.080	33.062	35.070	26.851	71.160	35.428	828.834
dic-15	264.007	11.032	50.916	178.044	16.312	147.210	124.770	45.474	21.527	32.026	68.390	51.317	1.011.025
ene-16	242.437	9.934	45.495	162.252	14.720	172.470	163.370	54.923	27.599	33.481	77.420	46.439	1.050.539
feb-16	252.386	9.717	44.423	169.536	14.405	348.935	297.336	63.891	55.163	54.047	187.398	45.474	1.542.710
mar-16	244.598	10.106	46.343	163.834	14.969	226.654	200.359	56.470	36.551	39.987	86.570	47.202	1.173.640
abr-16	174.088	6.392	27.998	112.212	9.581	150.969	139.890	41.822	29.596	29.457	60.654	30.696	813.354
may-16	78.409	3.208	12.268	42.164	4.962	28.051	25.190	16.960	7.715	6.620	11.790	16.543	253.880
oct-16	69.681	3.130	11.883	35.774	4.849	21.196	33.434	5.703	10.167	6.261	23.413	16.197	241.689
nov-16	226.509	8.911	40.443	150.591	13.236	190.925	175.576	43.290	43.277	30.783	101.456	41.893	1.066.892
dic-16	292.775	12.480	58.069	199.106	18.413	207.496	145.836	51.688	37.629	42.246	64.092	57.753	1.187.583
ene-17	331.056	14.418	67.643	227.132	21.224	273.478	258.264	62.541	55.750	51.733	143.509	66.368	1.573.117
feb-17	225.127	8.174	36.799	149.579	12.166	191.313	182.550	53.578	42.290	35.287	88.654	38.614	1.064.132
mar-17	171.497	7.254	32.257	110.315	10.832	147.550	150.896	41.441	35.130	30.375	69.390	34.528	841.466
abr-17	91.216	4.392	18.118	51.539	6.680	64.206	55.650	23.200	8.288	12.121	32.388	21.806	389.604
may-17		1.475	3.706		2.447	22.062	14.320		1.706	4.111	9.030	8.839	67.695
oct-17	40.336	2.934	10.917	14.290	4.565	10.750	9.884	3.312	4.566	3.499	5.700	15.327	126.080
nov-17	245.851	9.921	45.431	164.751	14.701	148.032	124.350	45.665	37.102	27.035	71.556	46.382	980.778
dic-17	295.890	12.636	58.840	201.386	18.639	222.510	173.018	63.880	53.819	41.851	124.822	58.447	1.325.738
ene-18	285.654	12.117	56.277	193.892	17.886	275.251	188.888	61.226	45.982	43.756	123.410	56.141	1.360.481
feb-18	306.920	11.857	54.992	209.462	17.509	293.190	245.226	67.366	43.599	44.761	137.100	54.984	1.486.966
mar-18	228.872	9.275	42.239	152.321	13.764	219.610	217.314	68.583	51.291	38.923	110.644	43.509	1.196.345
abr-18	125.321	4.921	20.733	76.509	7.448	102.000	99.014	32.522	24.007	23.478	55.580	24.159	595.692
may-18	56.631	2.392	2.392	26.220	3.779	29.180	23.570	11.231	7.171	6.241	15.860	12.918	197.584
TOTAL	7.445.717	314.813	1.406.150	5.024.572	469.034	5.877.469	5.694.440	1.720.268	1.211.273	1.164.732	3.104.563	1.490.642	34.923.673

La Tabla 80 y Figura 103, muestran el resumen del ahorro energético que se ha obtenido en cada uno de los edificios del Campus Miguel Delibes y en el conjunto del Campus, durante las tres temporadas de calefacción siguientes a la puesta en marcha de la red de calor, siendo este del 5,5% lo que equivale a un ahorro de 1.142.561 kWh.

Tabla 80. Resumen de ahorro de energía térmica del Campus Miguel Delibes (kWh)

kWh térmicos	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	TOTAL
TOTAL Pronost oct-15-may-18	4.527.834	187.251	833.265	2.964.374	279.046	3.653.299	3.199.008	962.623	725.842	669.112	1.748.798	887.108	20.637.560
TOTAL Real oct-15-may-18	3.694.872	132.346	729.668	2.579.096	330.660	3.653.299	3.199.008	1.283.856	725.842	669.112	1.748.798	748.442	19.494.998
Ahorro (kWh)	832.961	54.905	103.598	385.278	-51.614	0	0	-321.233	0	0	0	138.666	1.142.561
Ahorro (%)	18,4%	29,3%	12,4%	13,0%	-18,5%	0,0%	0,0%	-33,4%	0,0%	0,0%	0,0%	15,6%	5,5%
Diferencias en las medias	22,5%	41,5%	14,2%	14,9%	-15,6%	0,0%	0,0%	-25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	18,5%	5,9%

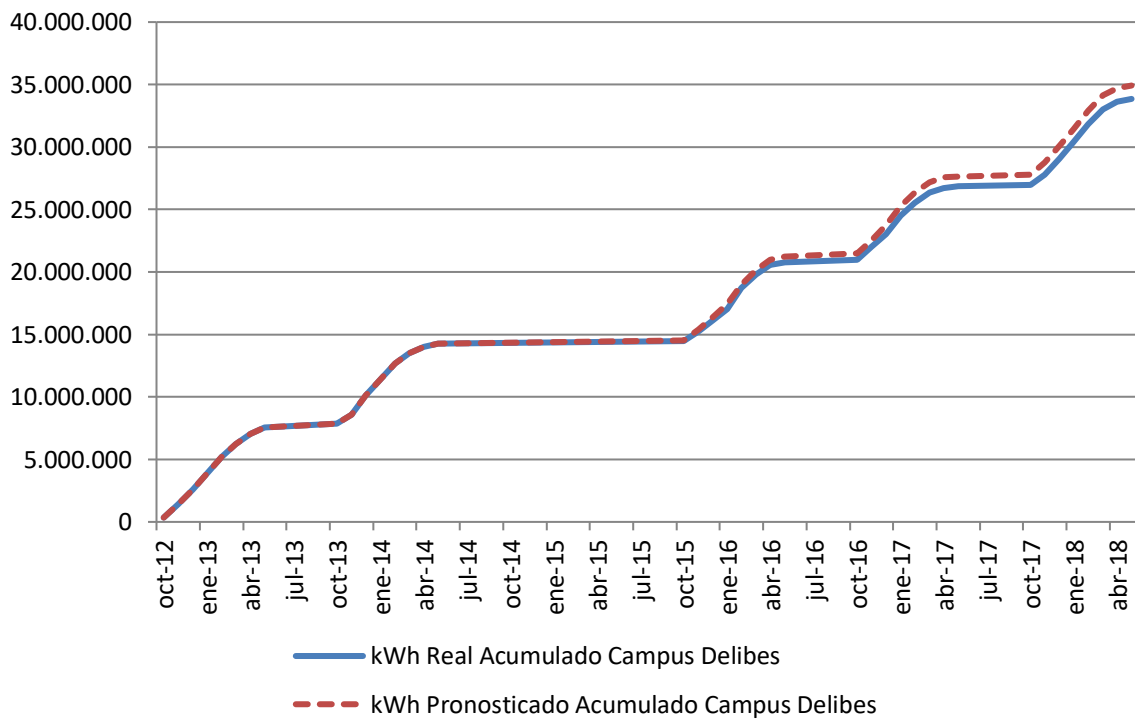


Figura 103. Consumo real acumulado y pronosticado (kWh). Campus Miguel Delibes

La Tabla 81 y Figura 104, muestran el resumen del ahorro de emisiones de CO₂, que se ha obtenido en cada uno de los edificios del Campus Miguel Delibes y en el conjunto del Campus, durante las tres temporadas de calefacción siguientes a la puesta en marcha de la red de calor, siendo este del 87,4% lo que equivale a un ahorro de 4.543 toneladas de CO₂.

Tabla 81. Ahorro de emisiones CO2 del Campus Miguel Delibes (kg CO2)

Ahorro CO ₂ (kg CO ₂)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	TOTAL
oct-15	20.703	766	2.980	11.186	1.100	7.337	5.066	3.528	2.473	954	2.009	3.911	62.013
nov-15	44.772	1.816	7.692	28.963	2.402	29.202	29.202	7.169	7.996	6.122	16.224	8.051	189.612
dic-15	61.905	2.493	11.626	42.671	3.721	33.564	28.448	10.203	4.908	7.302	15.593	12.096	234.530
ene-16	56.709	2.343	10.547	38.093	3.452	39.323	37.248	12.483	6.293	7.634	17.652	10.762	242.539
feb-16	36.833	475	3.968	27.359	-961	56.382	54.079	9.197	10.073	9.161	25.347	7.280	239.192
mar-16	54.145	2.415	10.524	34.883	2.499	48.199	39.583	11.849	8.023	8.998	18.361	10.184	249.663
abr-16	40.416	1.420	5.999	25.922	1.775	33.929	31.266	9.457	6.465	6.690	13.764	7.077	184.180
may-16	18.508	799	2.917	9.884	716	6.386	5.705	4.069	1.741	1.509	2.688	4.017	58.938
oct-16	10.763	748	2.214	5.688	-395	4.455	7.107	-533	1.559	1.231	2.485	3.489	38.811
nov-16	50.455	1.971	6.656	34.342	3.084	41.309	39.918	6.929	9.814	6.953	22.280	9.697	233.408
dic-16	67.625	2.794	11.061	46.072	4.206	47.187	33.128	10.635	8.543	9.628	14.104	13.580	268.565
ene-17	76.724	3.450	15.907	51.657	4.848	62.032	57.976	13.323	12.711	11.793	30.392	15.554	356.369
feb-17	52.357	1.759	7.711	34.353	2.495	42.308	41.448	11.822	9.642	8.044	20.199	8.915	241.052
mar-17	39.489	1.543	7.112	25.302	2.429	33.641	34.282	8.903	7.962	6.847	15.821	7.844	191.176
abr-17	21.546	1.021	3.888	11.401	1.472	14.617	12.688	5.137	1.890	2.764	7.255	5.190	88.869
may-17		-18	448	-558	342	4.840	3.265		389	930	2.059	2.088	13.784
oct-17	5.651	737	2.638	3.355	-133	2.451	2.166	695	549	798	1.300	3.778	23.985
nov-17	57.972	2.390	10.540	38.076	3.408	32.996	28.124	9.928	8.426	6.164	16.220	10.857	225.101
dic-17	68.109	2.934	13.665	46.685	4.329	50.732	38.972	13.346	12.242	9.537	27.996	13.608	302.154
ene-18	65.918	2.820	13.010	44.329	4.148	62.739	42.910	13.201	10.484	9.954	28.010	12.909	310.432
feb-18	71.242	2.730	12.688	47.905	3.930	66.847	55.142	14.481	9.941	10.196	31.259	12.433	338.795
mar-18	52.683	2.147	9.962	34.315	3.074	50.071	48.566	15.074	11.552	8.812	24.647	9.509	270.412
abr-18	28.391	1.116	4.750	17.588	1.564	23.256	22.488	7.282	5.461	5.322	12.572	5.360	135.149
may-18	12.985	603	283	5.784	634	6.653	5.374	2.449	1.635	1.423	3.616	3.122	44.559
Ahorro kg CO2	1.015.900	41.273	178.787	665.253	54.139	800.458	704.151	200.629	160.770	148.767	371.852	201.311	4.543.289
kg CO2 antes	1.141.014	47.187	209.983	747.022	70.320	920.631	806.150	242.581	182.912	168.616	440.697	223.551	5.200.665
% Ahorro	89,0%	87,5%	85,1%	89,1%	77,0%	86,9%	87,3%	82,7%	87,9%	88,2%	84,4%	90,1%	87,4%

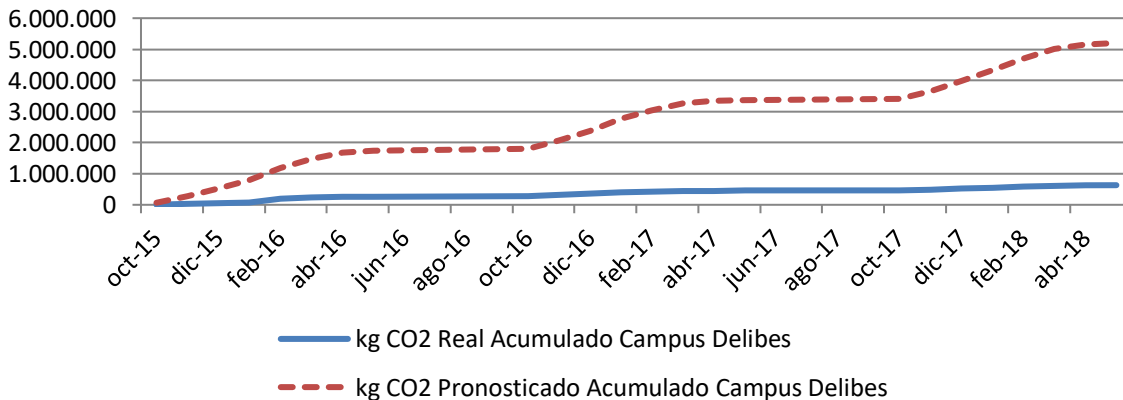


Figura 104. Emisiones reales acumuladas y pronosticadas (kg CO₂). Campus Miguel Delibes

En la Tabla 82 se muestran los precios que hubieran tenido que tener los kWh comprados a la red de calor, para obtener un ahorro económico del 0% y del 15 %, durante las tres temporadas siguientes a la ejecución de la red, con respecto a lo que hubiera pagado la Universidad por la compra de la energía al suministrador de gas natural de no haberse conectado a la red de calor.

Tabla 82. Precios máximos de compra de la energía a la red de calor

	€/kWh max comprado para 0% ahorro económico	€/kWh max comprado para 15% ahorro económico
D1	0,04000	0,03380
D2	0,04715	0,03961
D3	0,03740	0,03140
D4	0,03701	0,03130
D5	0,02681	0,02224
D6	0,03220	0,02719
D7	0,03220	0,02719
D8	0,02391	0,02015
D9	0,03225	0,02728
D10	0,03223	0,02728
D11	0,03228	0,02710
D12	0,03846	0,03256
DELIBES (min)	0,02391	0,02015

Se han estimado que los precios que se hubieran pagado por los combustibles fósiles son los que figuran en la Tabla 83

Tabla 83. Precios estimados para los combustibles

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018	Promedio
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,056	0,050325
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336	0,033225
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239	0,02565

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. CAMPUS RÍO ESGUEVA.

5.0. Introducción

En este capítulo se irán analizando cada uno de los once edificios de la Universidad de Valladolid, pertenecientes al Campus Río Esgueva, que están conectados a la red de calor.

Para cada uno de ellos se irá aplicando la metodología descrita en el capítulo 3, al igual que se hizo en el capítulo anterior:

- Se irá obteniendo el modelo o modelos que pueda predecir su consumo térmico en función de la o las variables climáticas que más influencia tengan sobre el consumo.
- Se comprobará el cumplimiento de todos los supuestos de la regresión lineal simple o múltiple, en función de los modelos obtenidos.
- Se verificará la existencia de diferencias significativas entre las medias de los consumos reales obtenidos para cada una de las tres temporadas posteriores a la puesta en marcha de la red y para las tres temporadas en su conjunto.
- Se estimarán las emisiones de CO₂ ahorradas en cada edificio, en las tres temporadas de funcionamiento de la red, por utilizar energía procedente de la red de calor.
- Se calculará el precio máximo de la energía térmica comprada a la red para que el ahorro económico que se experimente en las tres temporadas de funcionamiento de la red, llegue a ser del 15 % con respecto al coste hubiera tenido la Universidad si el edificio no se hubiera conectado a la red de calor.

En este capítulo se mostrará únicamente el resumen de los resultados de cada edificio, recogiendo el desarrollo de la metodología completa para cada edificio en el Anexo V.

5.1. Edificio E1. Edificio del Servicio de Mantenimiento

Edificio de 1940, caracterizado por los horarios de funcionamiento como de tipo docente, que empezó a funcionar para la UVA en el año 1989, cuenta con una superficie construida de 1.681 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante una caldera de gasóleo de una potencia de 291 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 291 kW. En la Figura 105 se marca la ubicación del edificio.



Figura 105. Ubicación del Edificio E1 en el croquis del campus Río Esgueva

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh}_{E1_Pronosticado} = -97,801 + 44,252 \times \text{GD20}_{24h}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 84 y en la Tabla 85, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 84. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E1

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
E1	GD20_24h	-97,801	44,252	0,655	0,429

Tabla 85. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E1

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple (*)
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

(*) Existe cierta correlación en los residuos

En la Figura 106, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

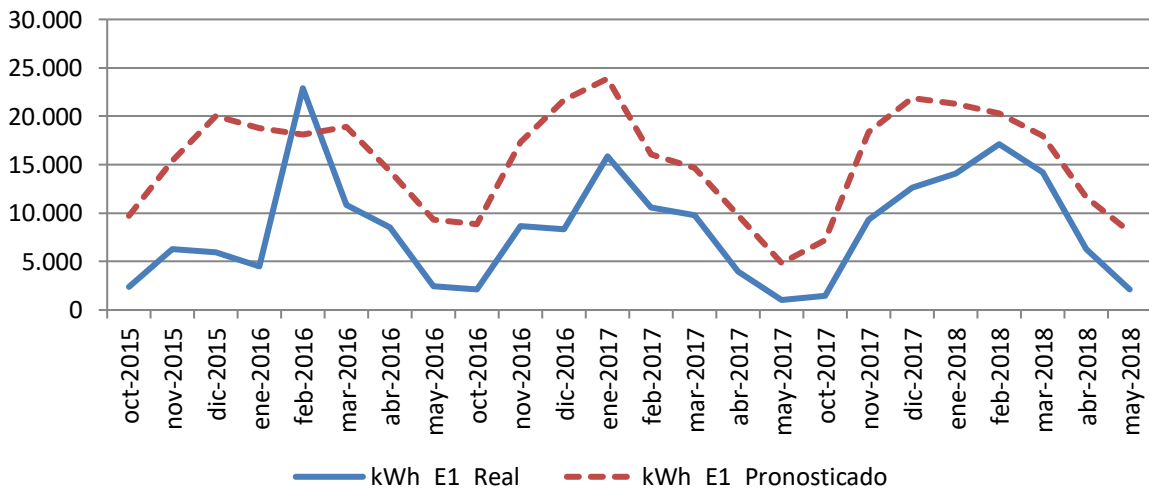


Figura 106. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E1. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 86

Tabla 86. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E1

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E1	95,2%	kWh real no normal	93,8%	SI	64,0%	SI	82,8%	SI

En la Figura 107, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E1, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

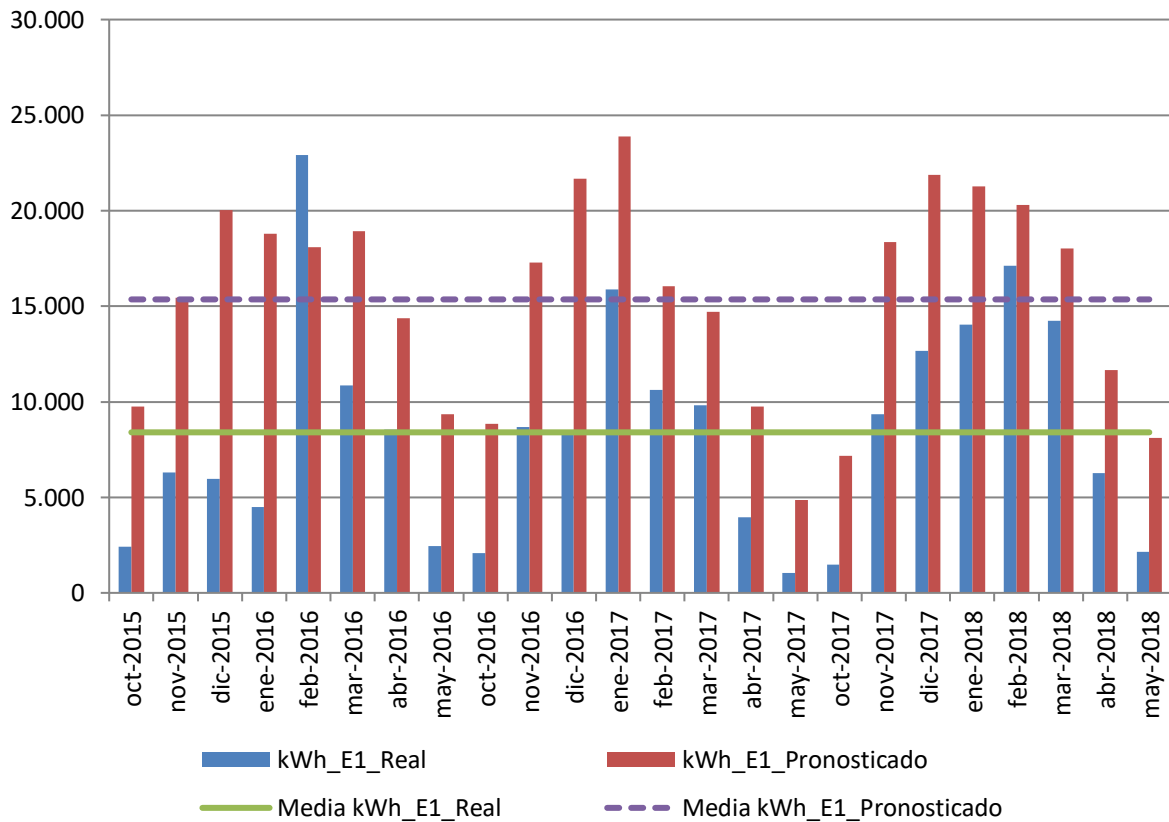


Figura 107. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1

En la Figura 108, se observa el consumo real del Edificio E1, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

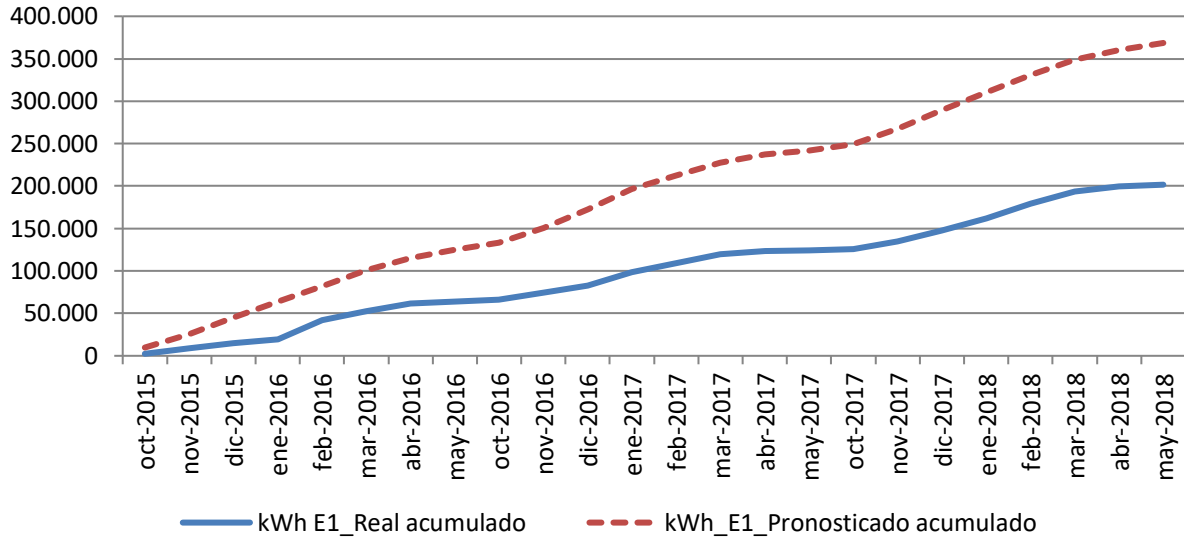


Figura 108. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 87

Tabla 87. Resumen de resultados. Edificio E1

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	82,8%	6.957 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	45,3%	166.959 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	93,0%	107 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,0804 €/kWh	2.369 €

5.2. Edificio E2. Facultad de Comercio

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1994, cuenta con una superficie construida de 11.160 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante tres calderas de gasóleo de una potencia total de 989 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 988 kW. En la Figura 109 se marca la ubicación del edificio.



Figura 109. Ubicación del Edificio E2 en el croquis del campus Río Esgueva

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_E2_Pronosticado} = 83.663,793 - 7.896,58 \times T_min$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 88 y en la Tabla 89, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 88. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E2

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
E2	T_min	83.663,793	-7.896,580	-0,819	0,671

Tabla 89. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E1

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple (*)
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

(*) Existe cierta correlación en los residuos

En la Figura 110, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

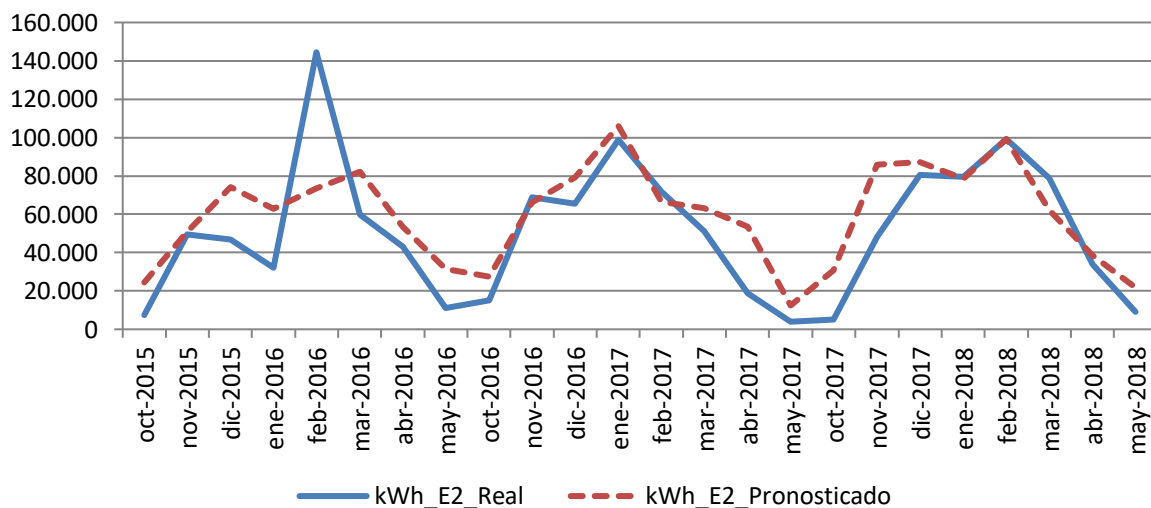


Figura 110. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E2. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 90

Tabla 90. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E2

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017- 2018	Significativo	% Diferencia 2015- 2018	Significativo
E2	14,7%	kWh real no normal	20,5%	No	16,0%	No	17,0%	No

En la Figura 111, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E2, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

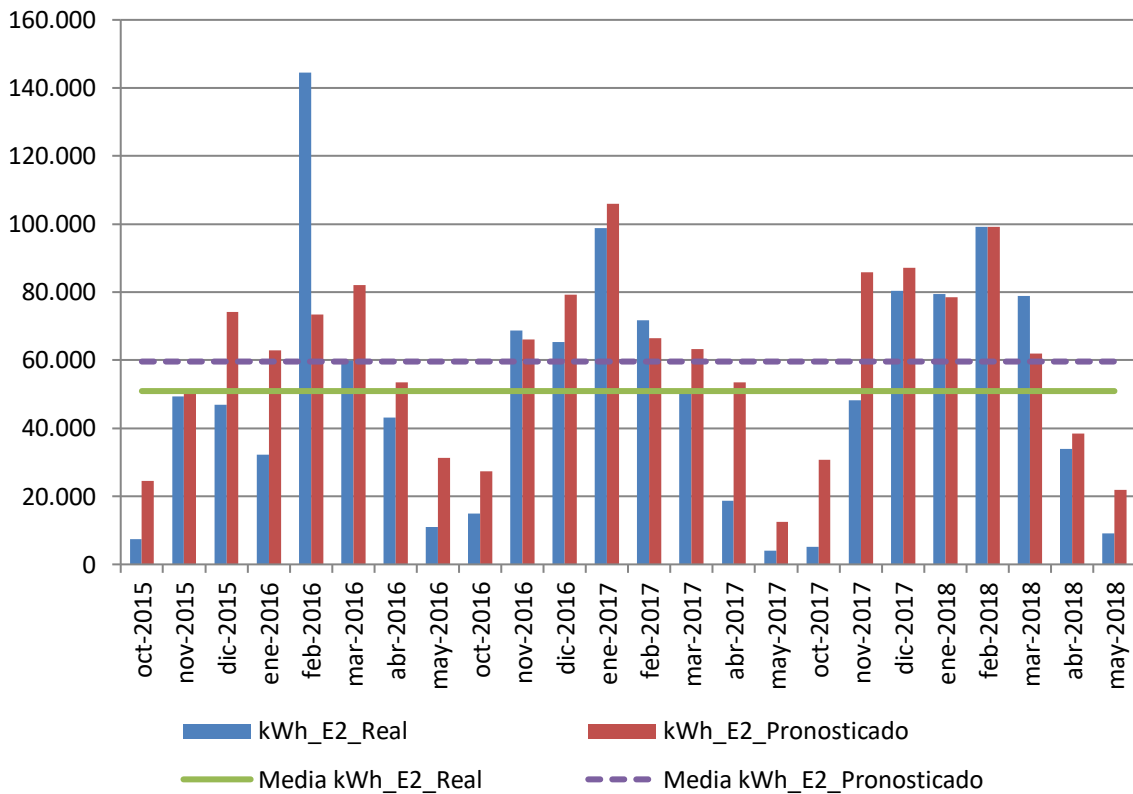


Figura 111. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2

En la Figura 112, se observa el consumo real del Edificio E2, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse encontrado diferencias significativas.

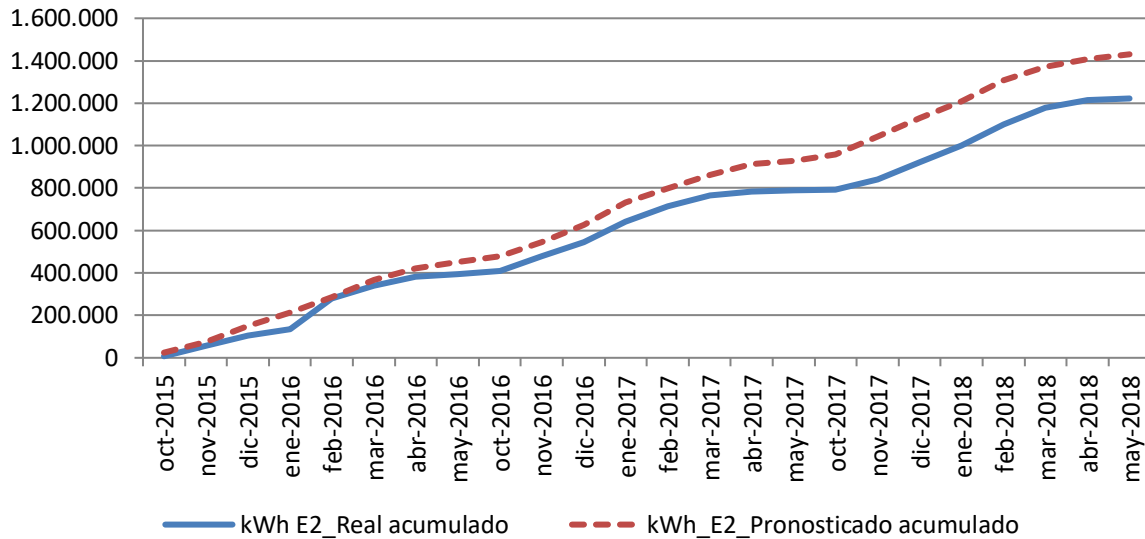


Figura 112. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 91

Tabla 91. Resumen de resultados. Edificio E2

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	0%	0 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	0%	0 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	85,7%	326 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,0428 €/kWh	7.853 €

5.3. Edificio E3. Facultad de Filosofía y Letras

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1997, cuenta con una superficie construida de 21.709 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de una potencia total de 930 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 929 kW. En la Figura 113 se marca la ubicación del edificio.



Figura 113. Ubicación del Edificio E3 en el croquis del campus Río Esgueva

Los modelos encontrados para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

Modelo 1: $kWh_{E3} = 219.817,236 - 26.412,48 \times T_{min}$

Modelo 2: $kWh_{E3} = 130.691,591 - 24.484,085 \times T_{min} + 30.147,142 \times V_{viento_diurna}$

El resumen de los modelos, con los coeficientes de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 92 y en la Tabla 93, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 92. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E3

	Variables independientes	Constante	B	R	R ²
E3_Modelo 1	Tmin	219.817,236	-26.412,480	-0,918	0,843
E3_Modelo 2	Tmin / V_diurna	130.691,591	-24.484,085 / 30147,142	-0,950	0,902

Tabla 93. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E3

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo 1	Modelo 2
1. Linealidad de las variables	Cumple	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple	Cumple
5. Falta de multicolinealidad entre las variables independientes.		Cumple

En la Figura 114, se representan los consumos reales y los pronosticados con los modelos de regresión obtenidos, en kWh.

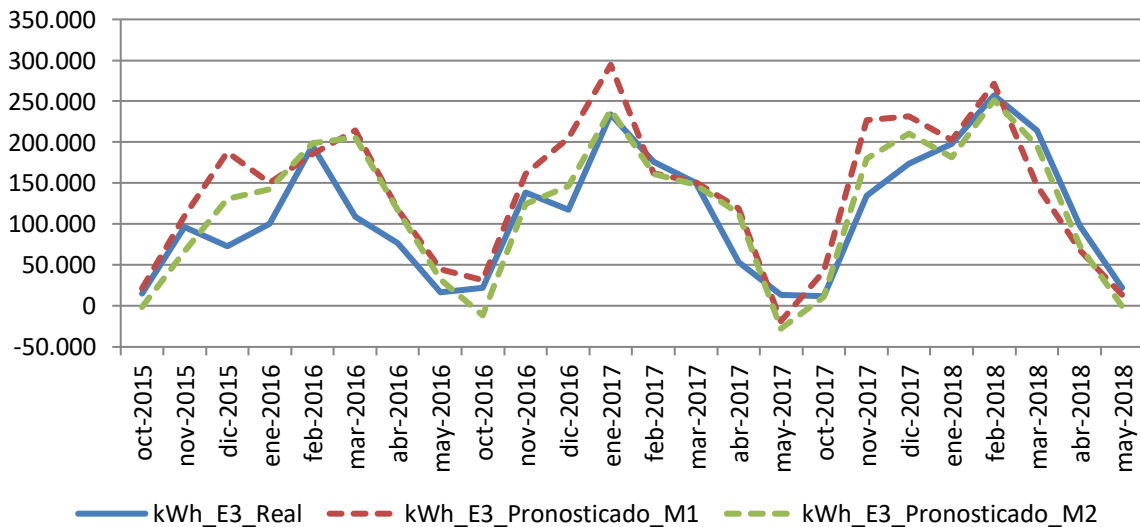


Figura 114. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E3. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 94

Tabla 94. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E3

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E3_Modelo 1	51,3%	SI	25,8%	No	8,5%	No	29,9%	SI
E3_Modelo 2	33,8%	No	7,2%	No	1,6%	No	11,7%	No

En la Figura 115 se grafican los consumos reales y pronosticados para el periodo Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E3, y las medias de dichos consumos.

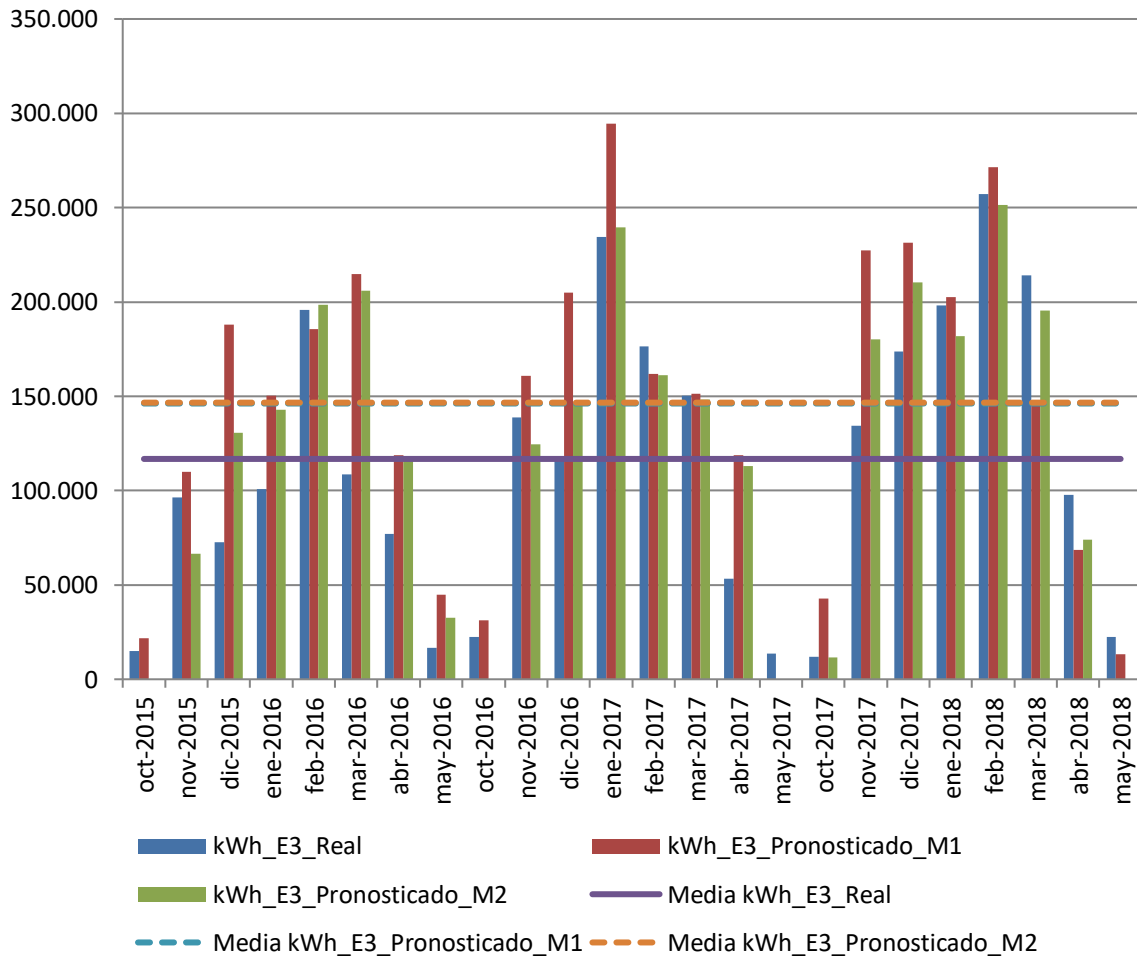


Figura 115. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3

En la Figura 116, se observa el consumo real del Edificio E3, en comparación con el consumo pronosticado acumulado con el Modelo 1 que es con el que existen diferencias significativas, si el Edificio no se hubiera incorporado a la red de calor.

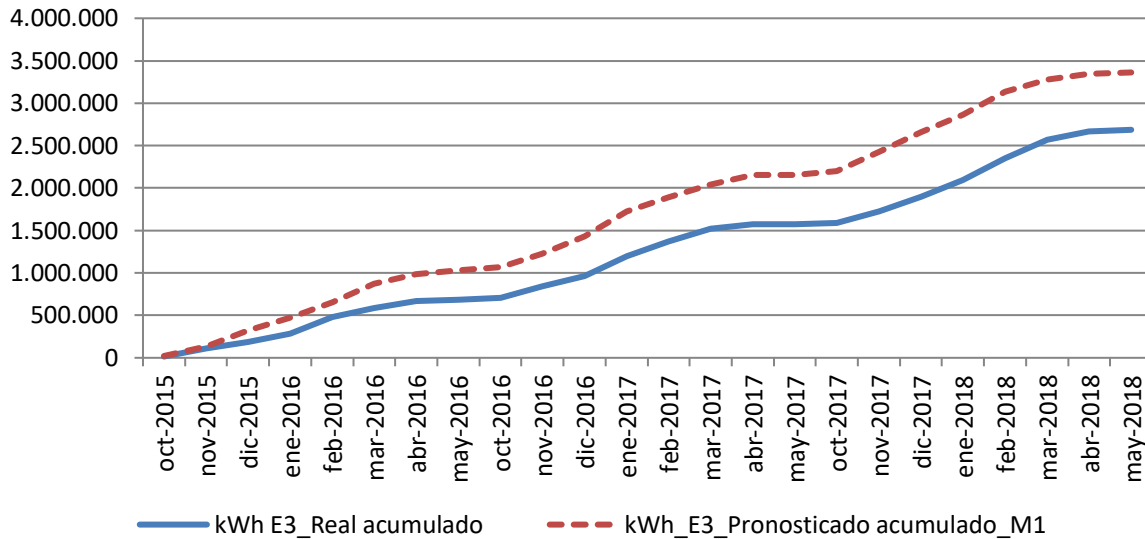


Figura 116. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 95

Tabla 95. Resumen de resultados. Edificio E3

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018. Utilizando el Modelo 2 (por ser el de mayor coeficiente de correlación)	29,9%	33.679 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	20,1%	675.763 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	87,4%	592 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02778 €/kWh	11.280 €

5.4. Edificio E4. Escuela de Ingenierías Industriales. Antigua Facultad de Ciencias

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1968, cuenta con una superficie construida de 32.305 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante tres calderas de gasóleo de una potencia de 3.139 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 2.384 kW. En la Figura 117 se marca la ubicación del edificio.



Figura 117. Ubicación del Edificio E4 en el croquis del campus Río Esqueva

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh}_{E4_Pronosticado} = 234.879,945 - 16.850,392 \times T_{med}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 96 y en la Tabla 97, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 96. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E4

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
E4	T_med	234.879,945	-16.850,392	-0,909	0,826

Tabla 97. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E4

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 118, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

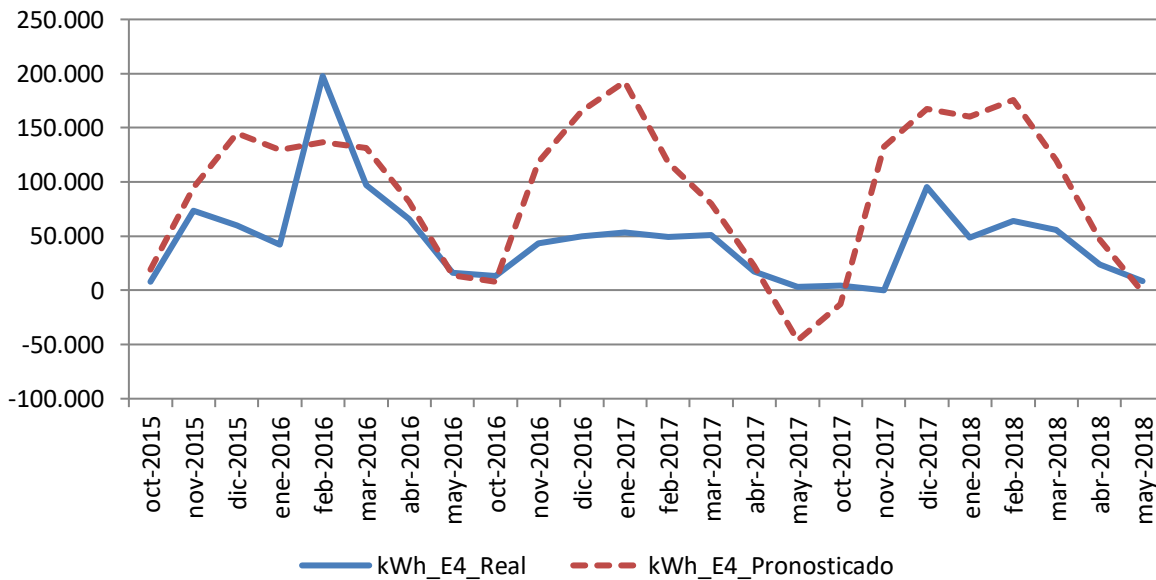


Figura 118. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E4. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 98

Tabla 98. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E4

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E4	34,4%	No	154,0%	kWh E4 real no normal	179,3%	SI	100,9%	kWh E4 real no normal

En la Figura 119, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E4, y las medias de dichos consumos. No se ha podido llevar a cabo la prueba paramétrica dado que no se cumplía la hipótesis de normalidad de las muestras.

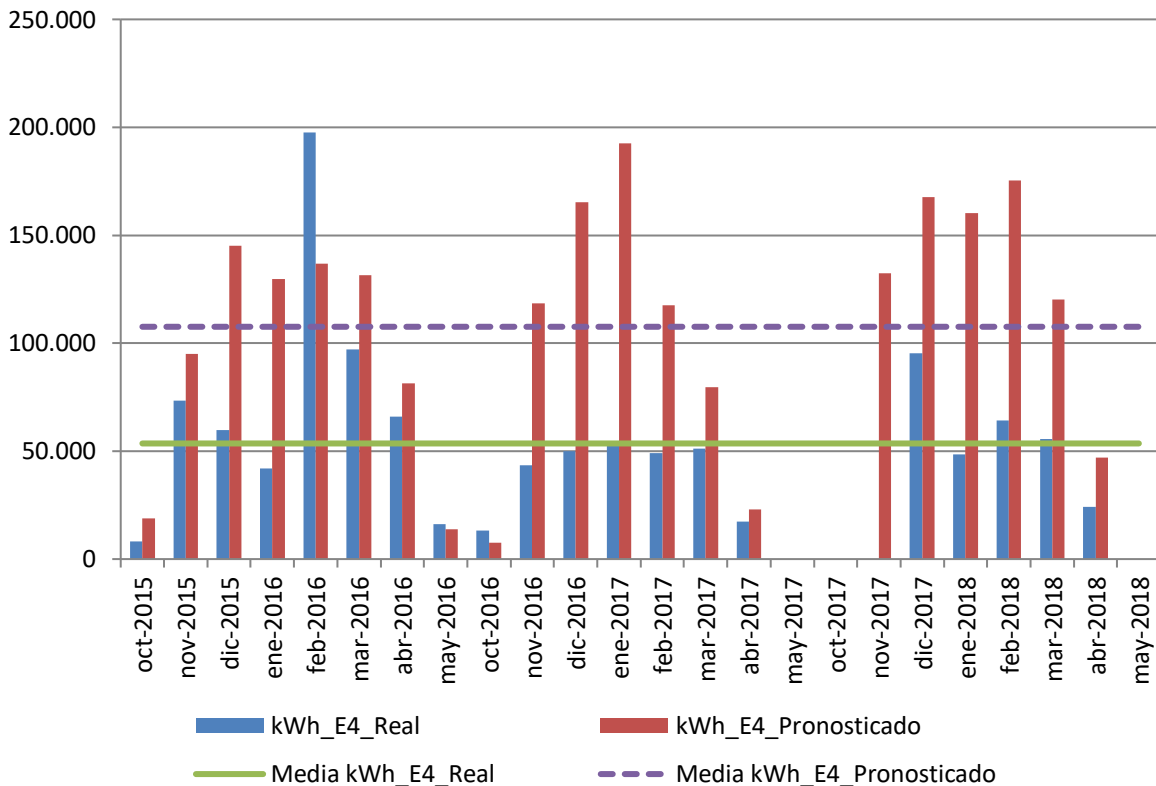


Figura 119. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E4

En la Figura 120, se observa el consumo real del Edificio E4, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse detectado diferencias significativas entre ambos consumos.

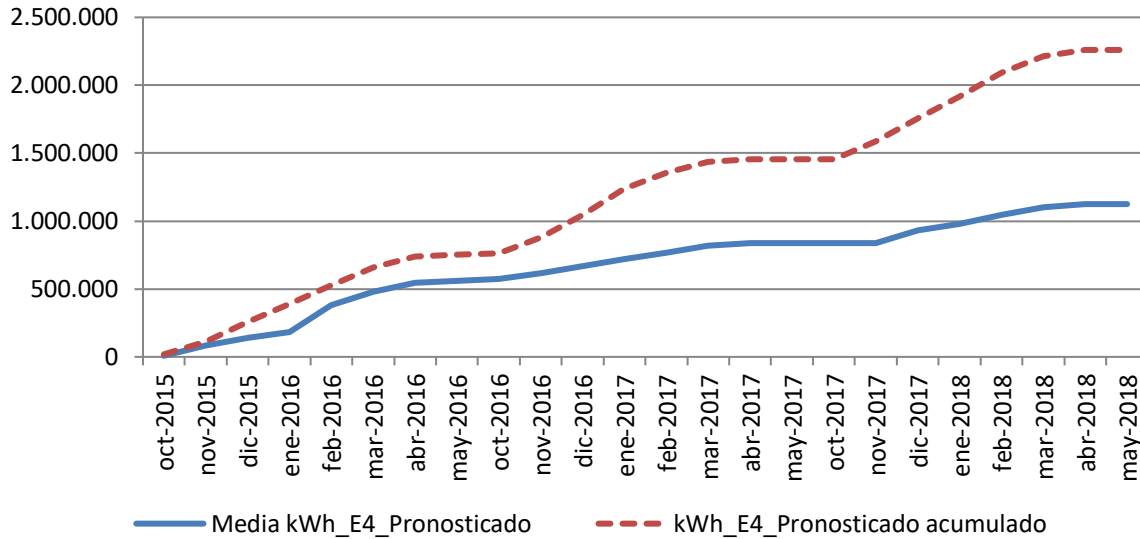


Figura 120. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E4

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 99

Tabla 99. Resumen de resultados. Edificio E4

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	-	-
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-	-
Ahorro de emisiones de CO ₂	78,5%	275 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,040876 €/kWh	7.084 €

5.5. Edificio E5. Edificio Alfonso VIII

Edificio de tipo residencial que empezó a funcionar en el año 1991, cuenta con una superficie construida de 20.016 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante tres calderas de gasóleo de una potencia de 4.943 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 3.800 kW. En la Figura 121 se marca la ubicación del edificio.

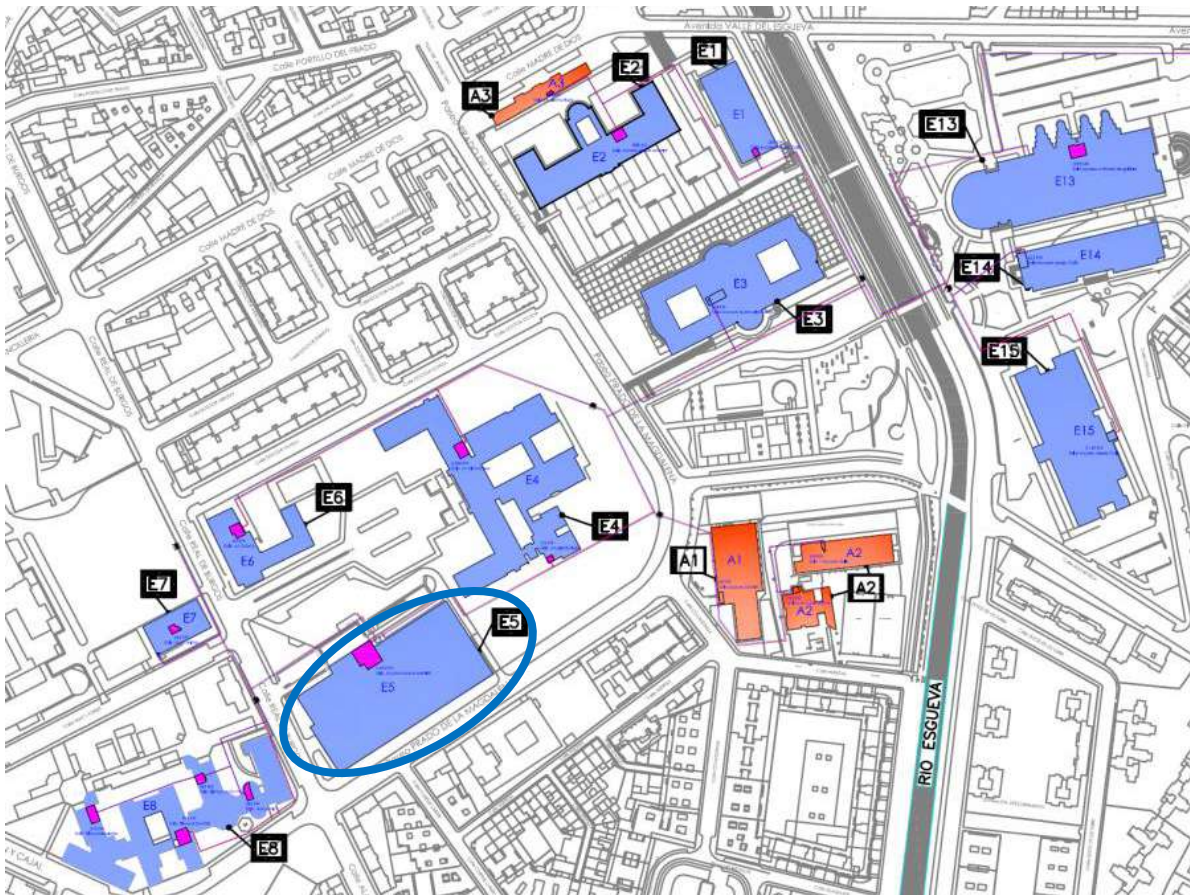


Figura 121. Ubicación del Edificio E5 en el croquis del campus Río Esgueva

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh}_{E5_Pronosticado} = 29.320,001 + 816,043 \times \text{GD15_30min}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 100 y en la Tabla 101, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 100. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E5

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
E5	GD15_30min	29.320,001	816,043	0,857	0,734

Tabla 101. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E5

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 122, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

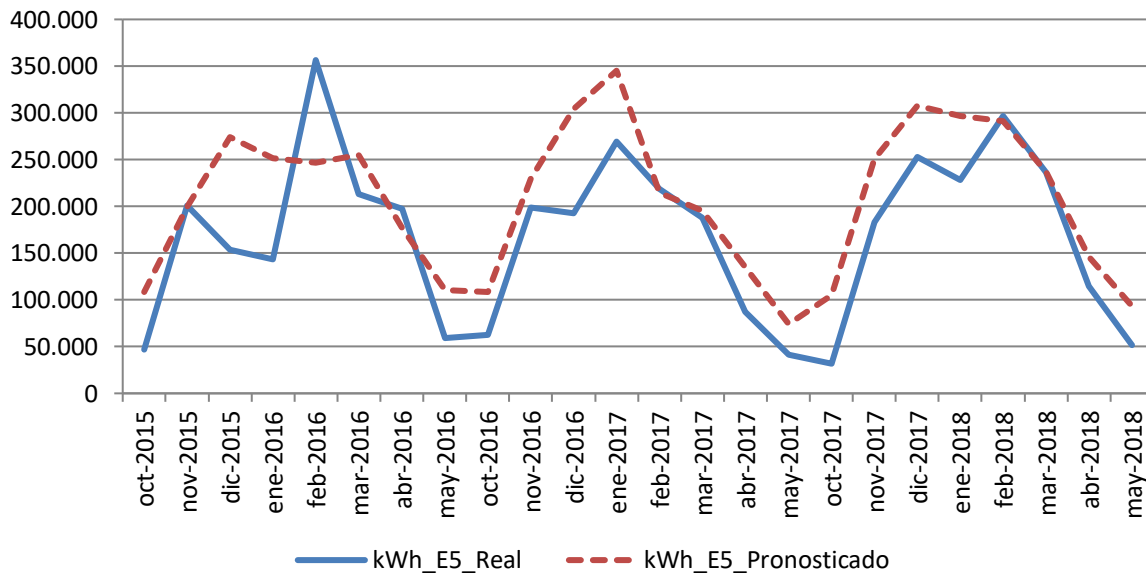


Figura 122. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E5. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 102

Tabla 102. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E5

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E5	18,4%	No	27,7%	SI	23,9%	SI	23,2%	SI

En la Figura 123, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E5, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

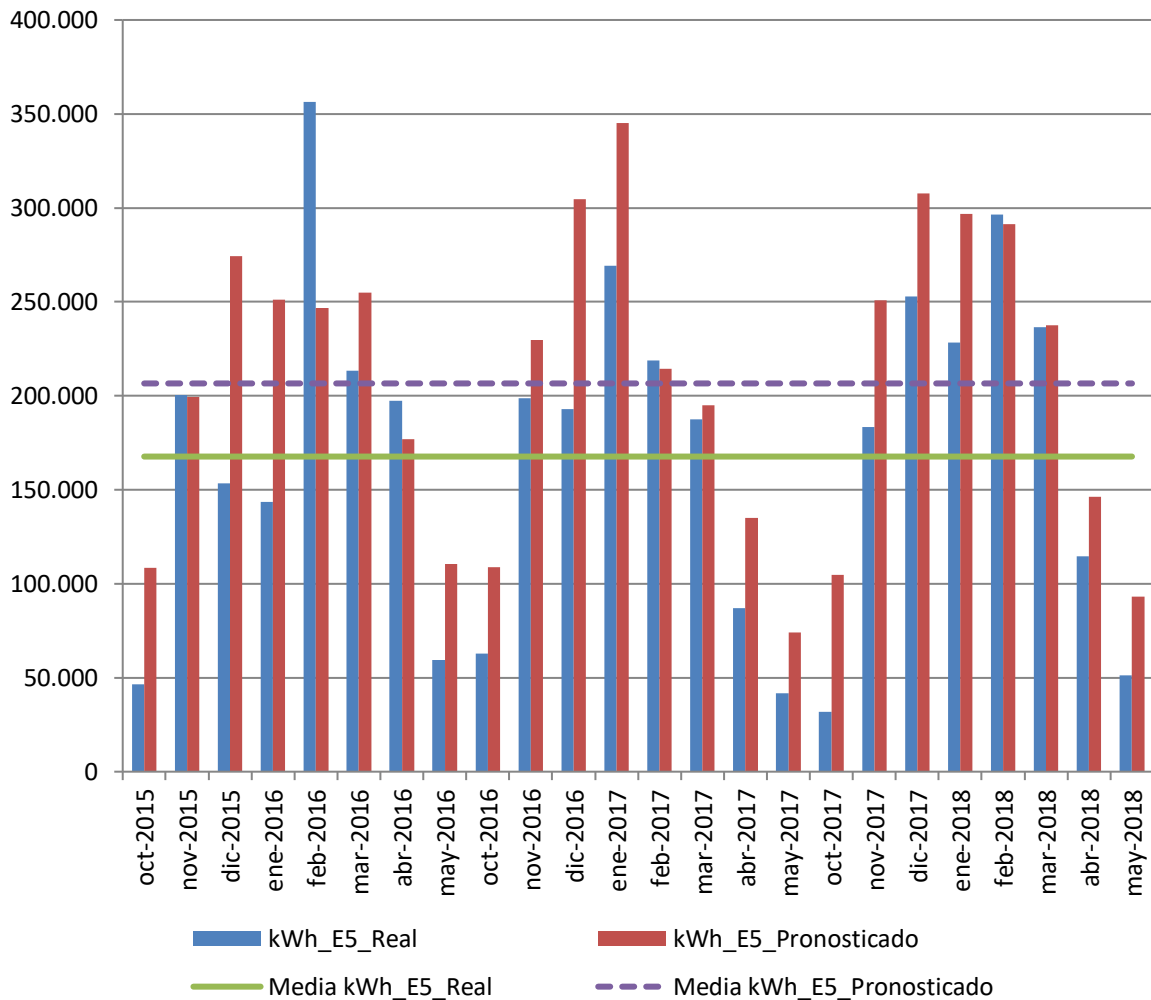


Figura 123. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5

En la Figura 124, se observa el consumo real del Edificio E5, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

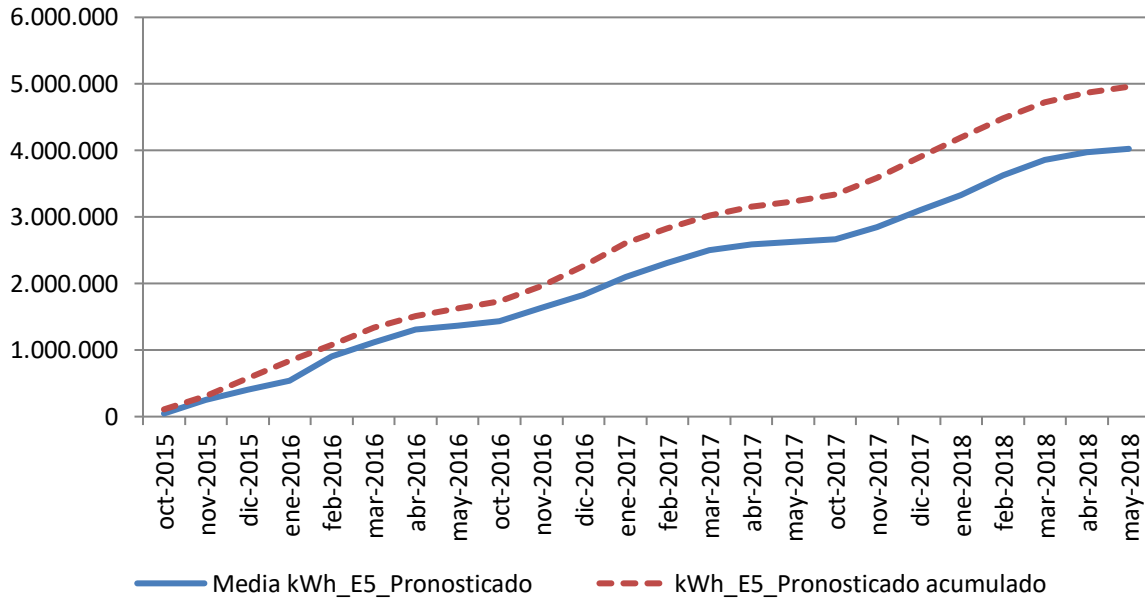


Figura 124. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 103

Tabla 103. Resumen de resultados. Edificio E5

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	23,2%	38.903 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	18,8%	933.665 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	90,9%	1.402 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,05317 €/kWh	31.886 €

5.6. Edificio E6. Colegio Mayor Femenino Santa Cruz

Edificio de tipo residencial que empezó a funcionar en el año 1981, cuenta con una superficie construida de 6.660 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de una potencia de 716 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 560 kW. En la Figura 125 se marca la ubicación del edificio.



Figura 125. Ubicación del Edificio E6 en el croquis del campus Río Esgueva

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh}_{E6_Pronosticado} = 99.745,107 - 5.510,824 \times T_med$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 104 y en la Tabla 105, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 104. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E6

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
E6	T_med	99.745,107	-5.510,824	-0,939	0,883

Tabla 105. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E6

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 126, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

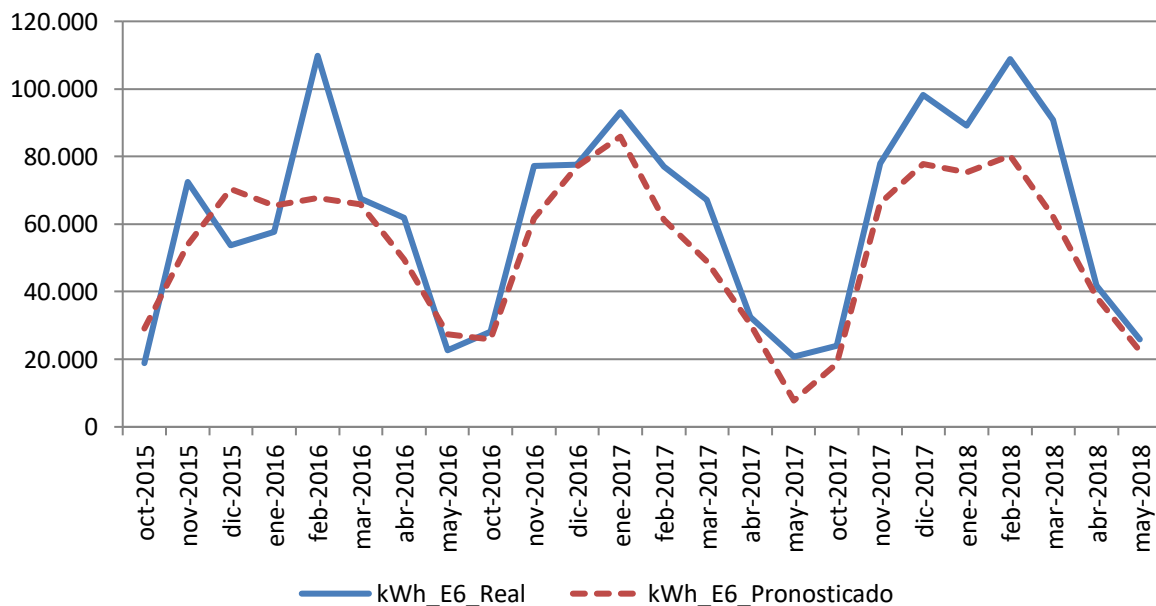


Figura 126. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E6. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 106

Tabla 106. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E6

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E6	-7,5%	No	-15,7%	SI	-20,7%	SI	-15,0%	SI

En la Figura 127, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E6, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

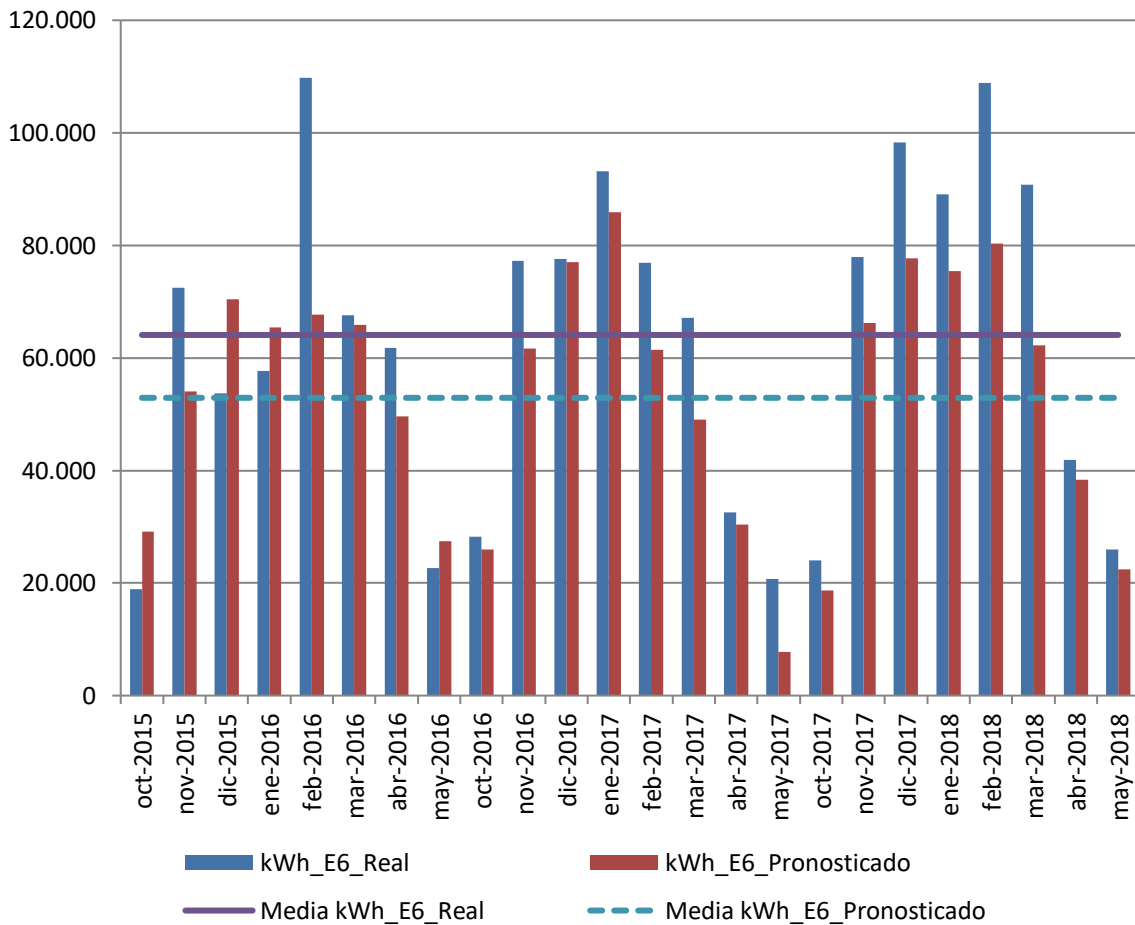


Figura 127. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6

En la Figura 128, se observa el consumo real del Edificio E6, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor.

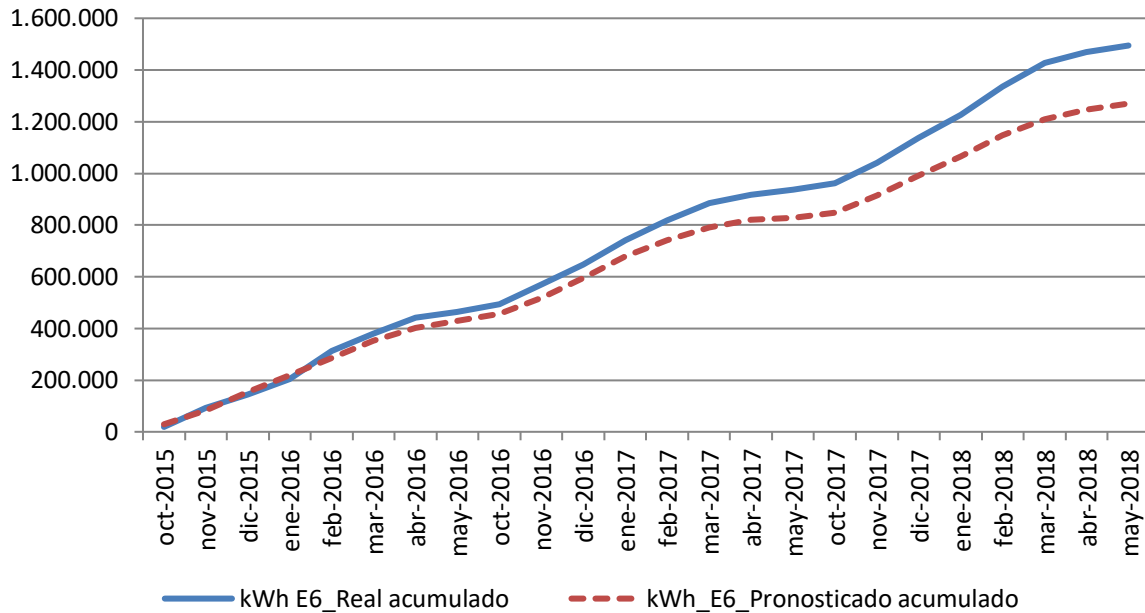


Figura 128. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 107

Tabla 107. Resumen de resultados. Edificio E6

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	-15,0%	-9.360 kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-17,7%	-224.650 kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	86,9%	327 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,0279 €/kWh	6.296 €

5.7. Edificio E7. Instituto de Biología Genética y Molecular

Edificio de tipo residencial que empezó a funcionar en el año 2005, cuenta con una superficie construida de 3.919 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de una potencia de 466 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 465 kW. En la Figura 129 se marca la ubicación del edificio.



Figura 129. Ubicación del Edificio E7 en el croquis del campus Río Esqueva

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh}_{E7_Pronosticado} = -437,414 + 109,126 \times \text{GD15}_{30\text{min}}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 108 y en la Tabla 109, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 108. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E7

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
E7	-437,414	109,126	0,925	0,855	-437,414

Tabla 109. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E7

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 130, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

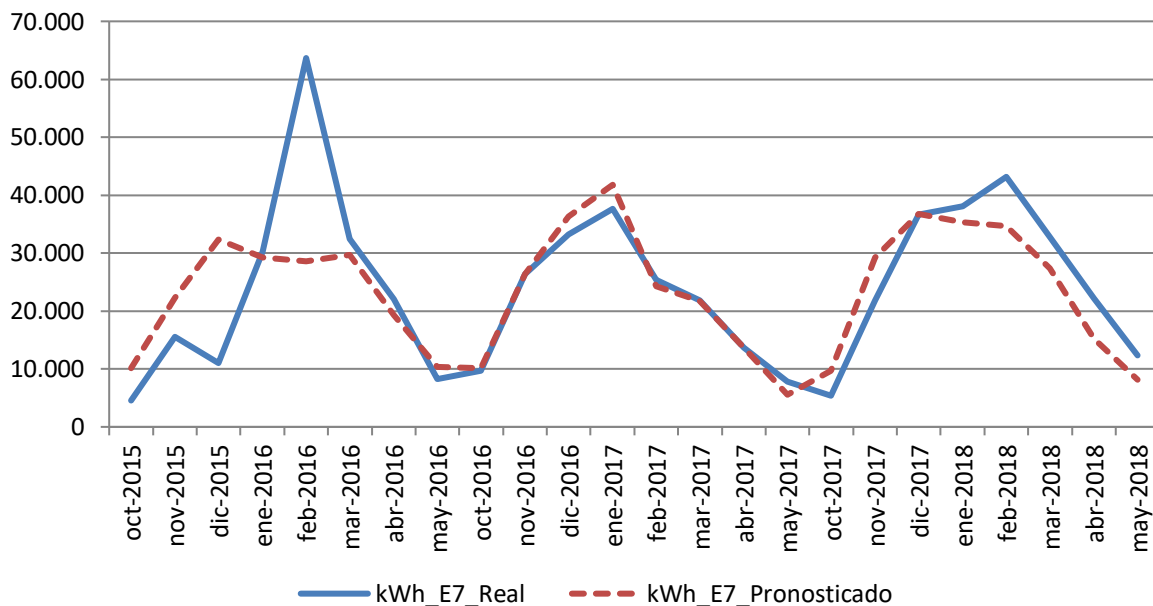


Figura 130. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E7. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 110

Tabla 110. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E6

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E7	-3,0%	No	2,5%	No	-7,5%	No	-3,0%	No

En la Figura 131, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E7, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

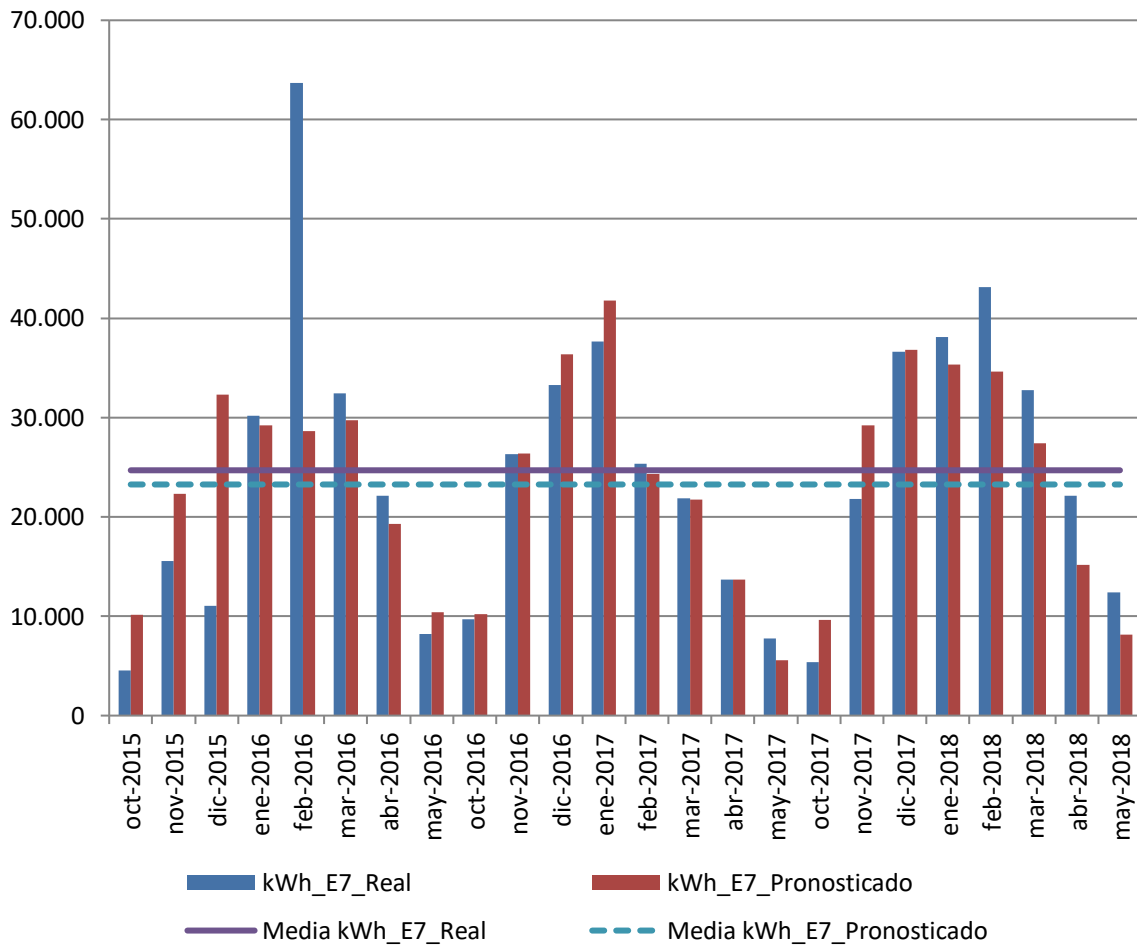


Figura 131. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7

En la Figura 132, se observa el consumo real del Edificio E7, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse producido diferencias significativas.

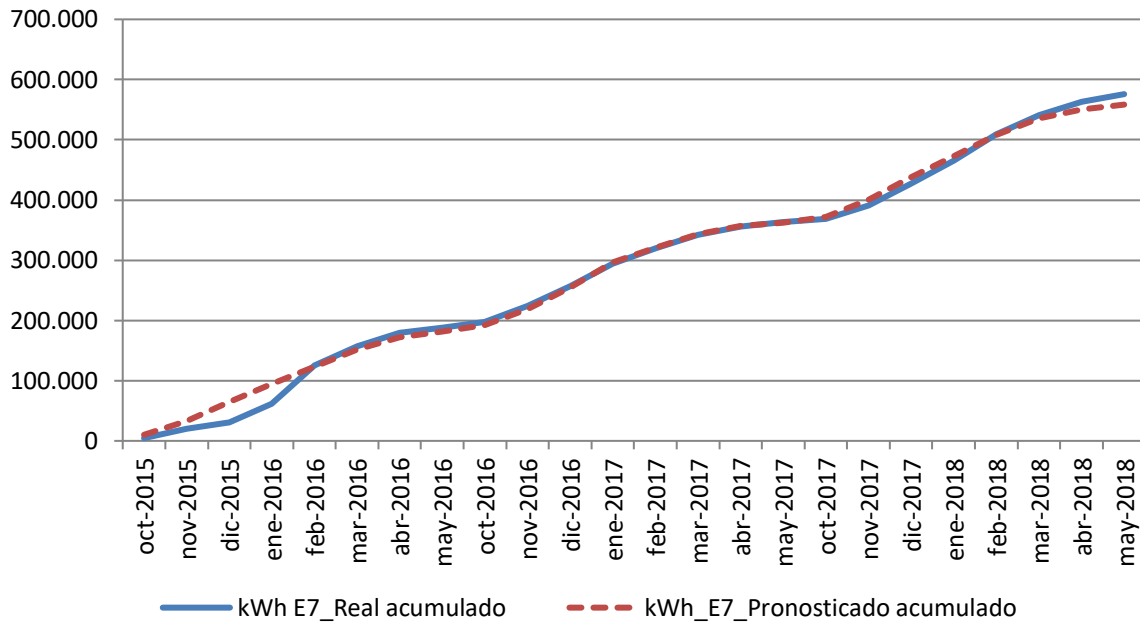


Figura 132. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 111

Tabla 111. Resumen de resultados. Edificio E7

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	-	-
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-	-
Ahorro de emisiones de CO ₂	84,1%	122 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02758 €/kWh	2.401 €

5.8. Edificio E8. Facultad de Ciencias de la Salud

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1960, cuenta con una superficie construida de 29.802 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante ocho calderas de gas natural de una potencia total de 2.320 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 2.172 kW. En la Figura 133 se marca la ubicación del edificio.

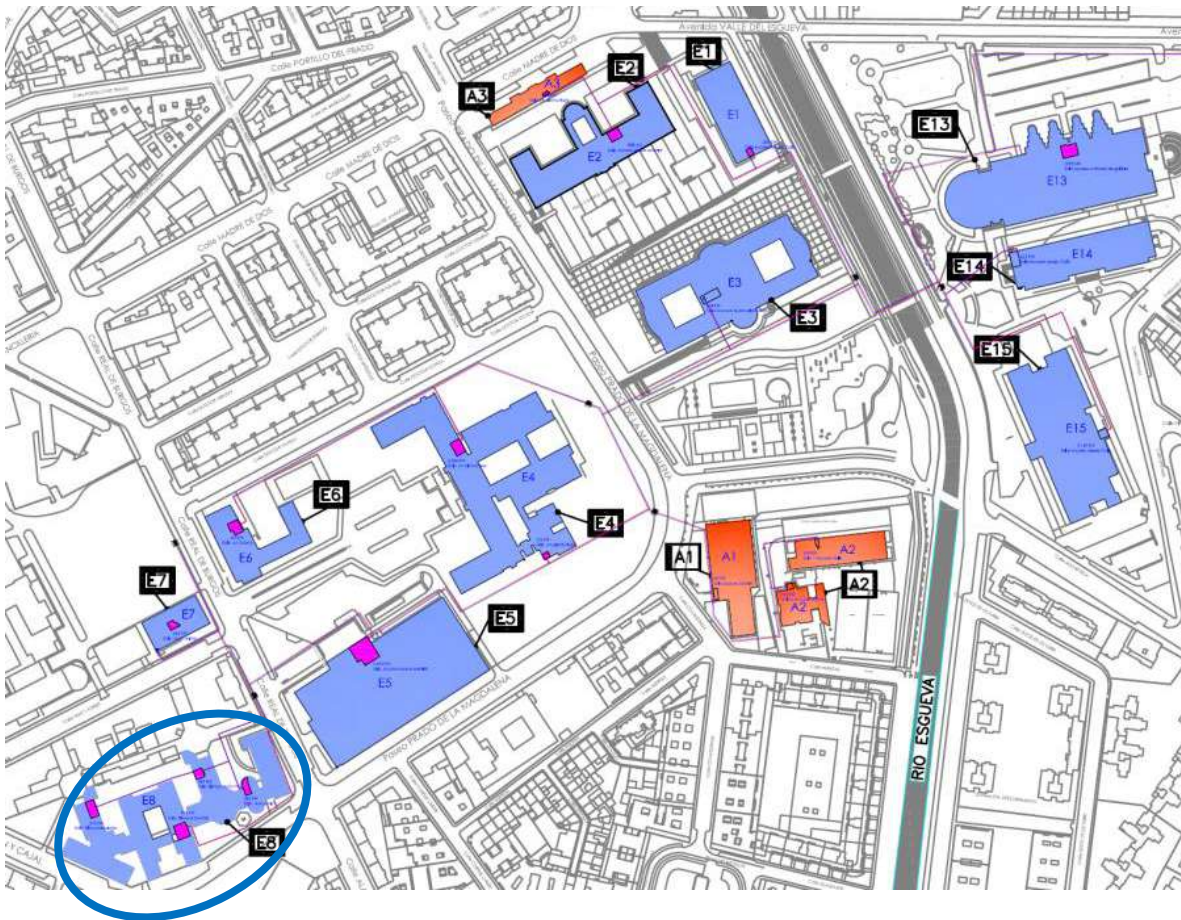


Figura 133. Ubicación del Edificio E8 en el croquis del campus Río Esgueva

Los modelos encontrados para predecir el consumo térmico del Edificio, fueron:

Modelo 1:

$$\text{kWh}_{E8} = 381.573,782 - 44.158,494 \times T_{\min}$$

Modelo 2:

$$\text{kWh}_{E8} = 88.655,039 - 37.820,664 \times T_{\min} + 99.081,056 \times V_{\text{viento_diurna}}$$

El resumen de los modelos, con los coeficientes de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 112 y en la Tabla 113, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 112. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E8

	Variables independientes	Constante	B	R	R ²
E8_Modelo 1	Tmin	381.573,782	-44.158,494	-0,801	0,641
E8_Modelo 2	Tmin / V_diurna	88.655,039	-37.820,664 / 99.081,056	-0,903	0,816

Tabla 113. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E8

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo 1	Modelo 2
1. Linealidad de las variables	Cumple	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple	No cumple. Pequeña correlación en los residuos y la velocidad del viento diurna
5. Falta de multicolinealidad entre las variables independientes.		Cumple

En la Figura 134, se representan los consumos reales y los pronosticados con los modelos de regresión obtenidos, en kWh.

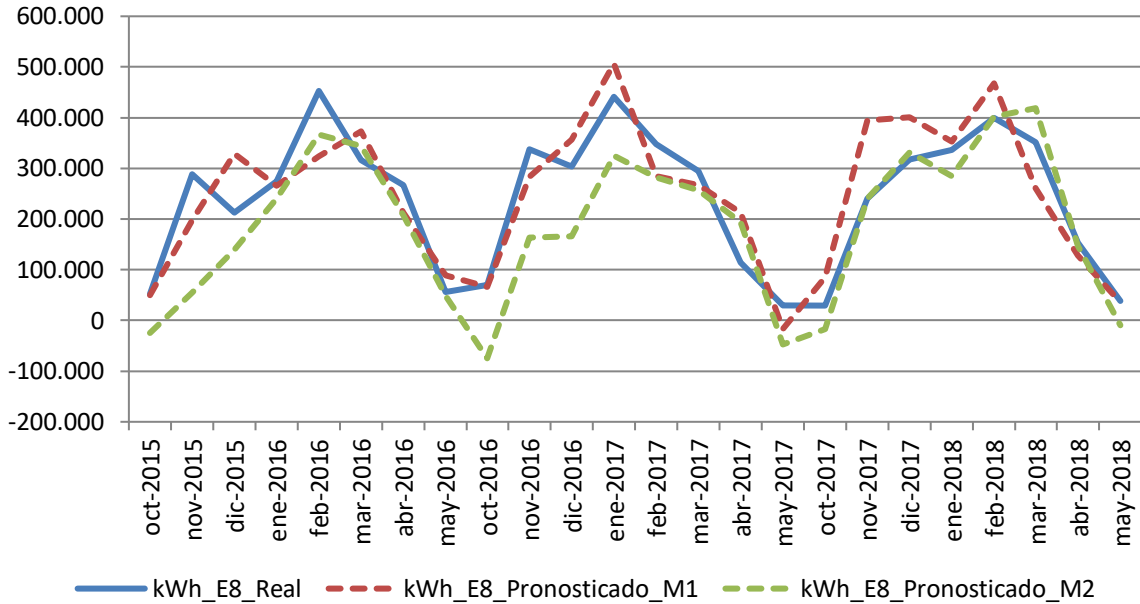


Figura 134. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E8. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 114

Tabla 114. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E8

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E8_Modelo 1	-4,2%	No	3,6%	No	14,0%	No	4,4%	No
E8_Modelo 2	-24,9%	No	-24,5%	No	1,4%	No	-16,9%	Si, pero modelo descartado por correlación entre residuos y V_diurna

En la Figura 135 se grafican los consumos reales y pronosticados para el periodo Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E8, y las medias de dichos consumos.

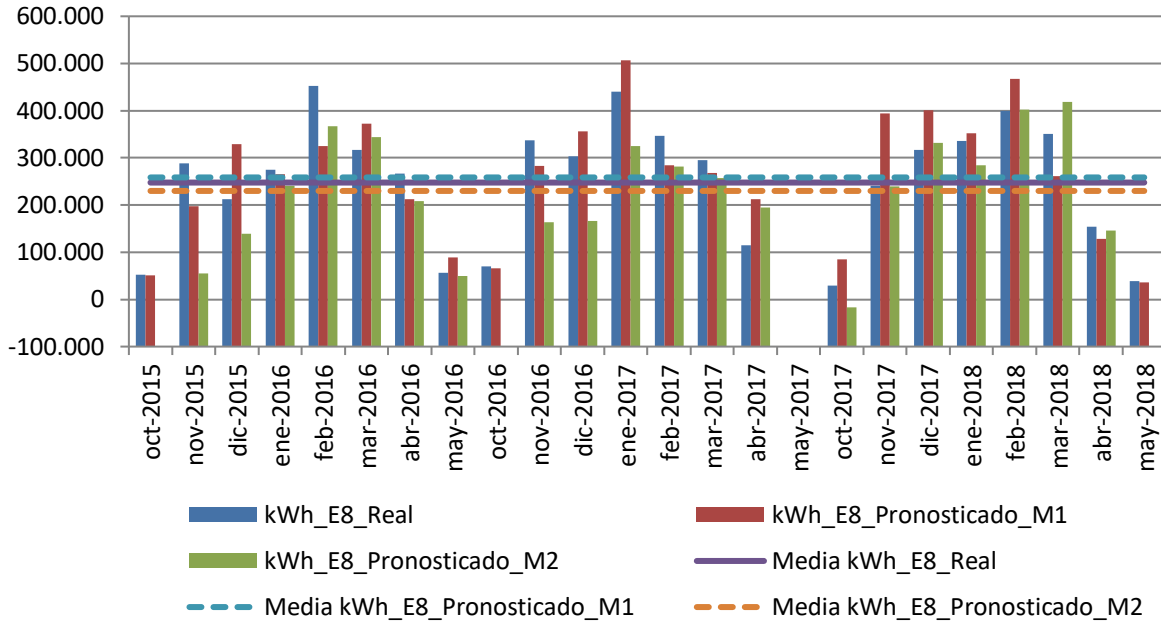


Figura 135. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8

En la Figura 136, se observa el consumo real del Edificio E8, en comparación con el consumo pronosticado acumulado con el Modelo 1 que es considerado válido, de haberse encontrado diferencias significativas y si el Edificio no se hubiera incorporado a la red de calor.

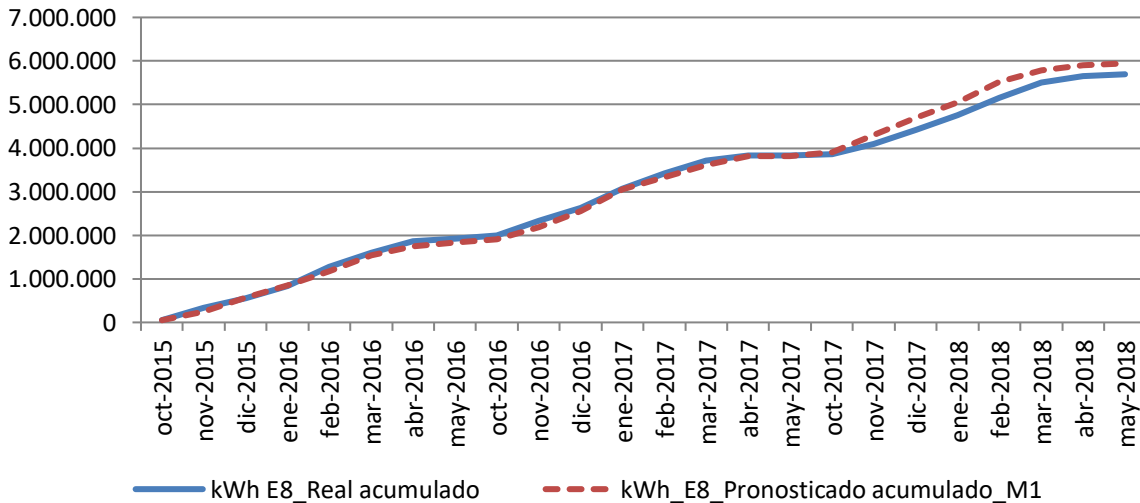


Figura 136. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 115

Tabla 115. Resumen de resultados. Edificio E8

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018.	-	-
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-	-
Ahorro de emisiones de CO ₂	88,6%	1.271 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02778 €/kWh	23.845 €

5.9. Edificio E13. Facultad de Económicas

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1982, cuenta con una superficie construida de 17.776 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gas natural de una potencia de 1.604 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 1.624 kW. En la Figura 137 se marca la ubicación del edificio.



Figura 137. Ubicación del Edificio E13 en el croquis del campus Río Esgueva

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_E13_Pronosticado} = 461.136,517 - 21.706,507 \times T_max$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 116 y en la Tabla 117, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 116. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E13

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
E13	461.136,517	-21.706,507	-0,920	0,847	461.136,517

Tabla 117. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E13

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple (*)
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

(*) Existe cierta correlación en los residuos

En la Figura 138, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

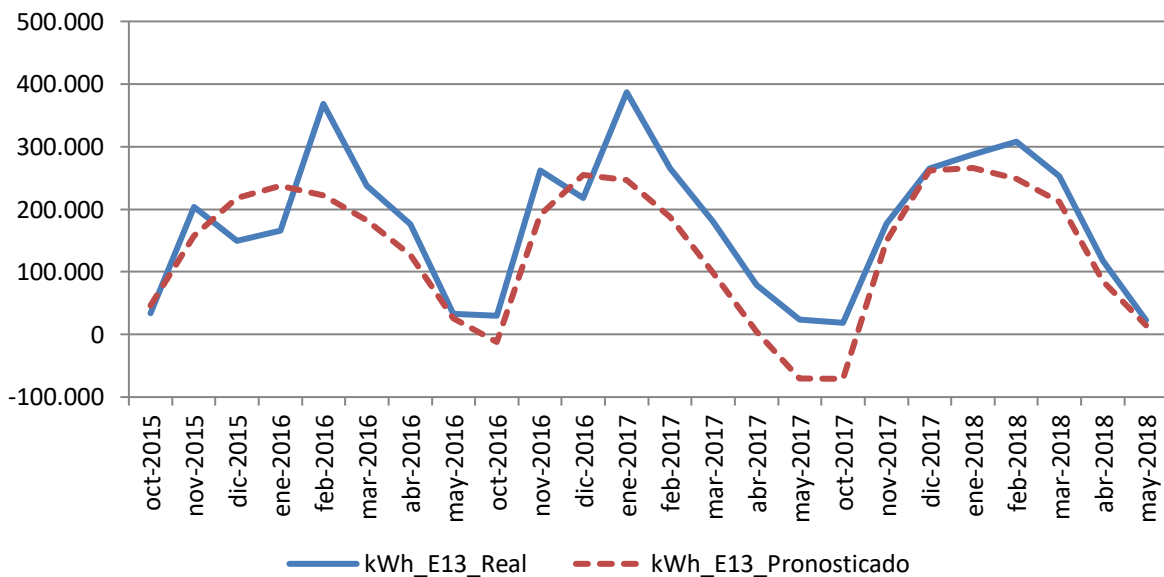


Figura 138. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E13. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 118

Tabla 118. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E6

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E13	-11,0%	No	-29,4%	SI	-13,6%	SI	-18,0%	Pronosticos no normal

En la Figura 139, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E13, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por no haberse cumplido la hipótesis de normalidad de los pronósticos, con un riesgo a estar equivocados del 5%

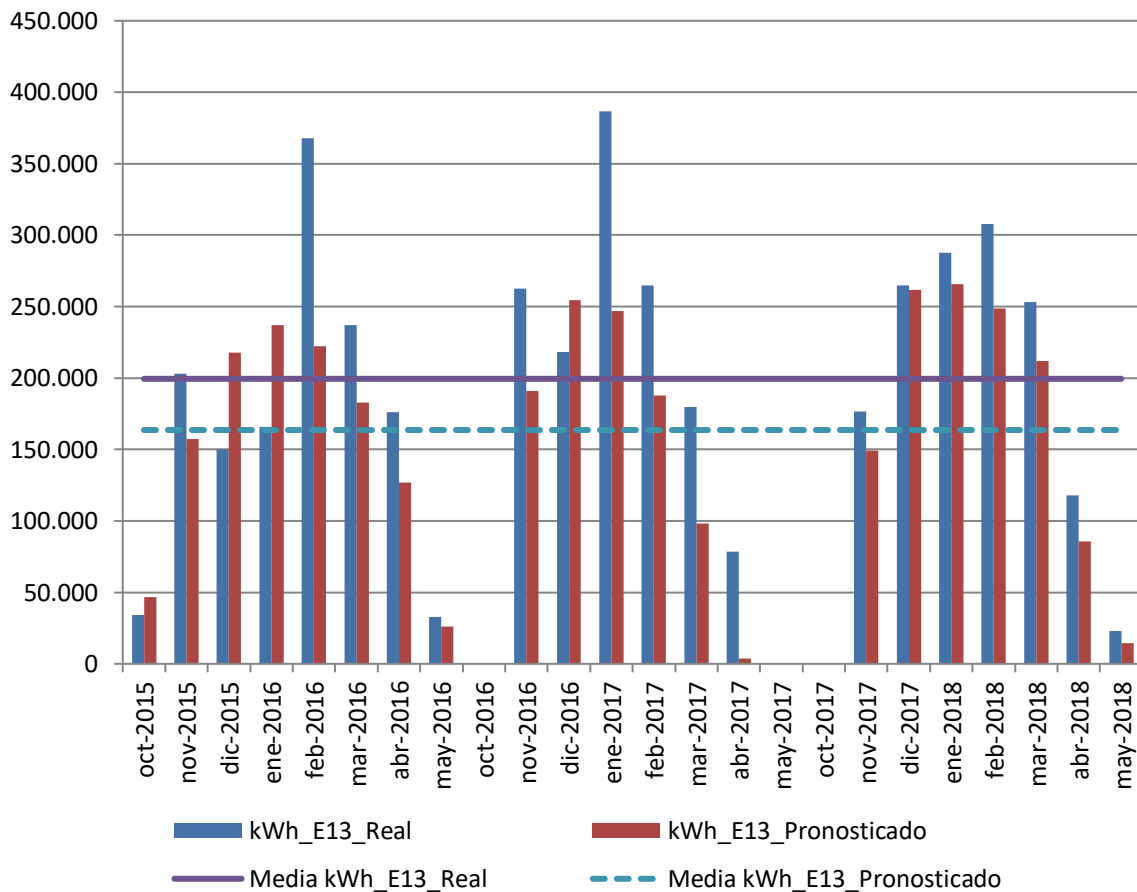


Figura 139. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E13

En la Figura 140, se observa el consumo real del Edificio E13, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse producido diferencias significativas.

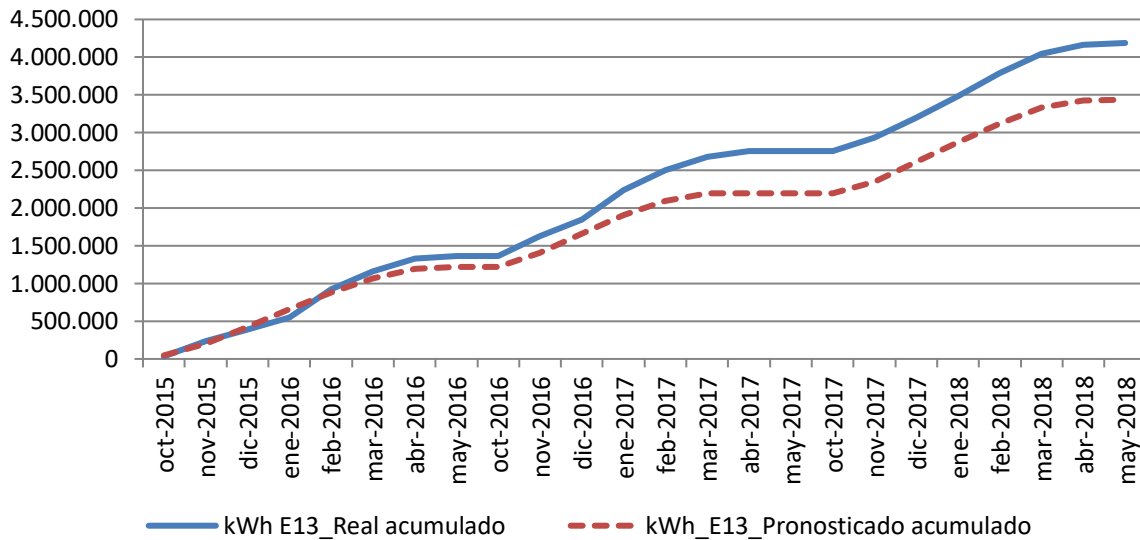


Figura 140. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E13

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 119

Tabla 119. Resumen de resultados. Edificio E13

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	-	-
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-	-
Ahorro de emisiones de CO ₂	87,2%	920 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02740 €/kWh	17.590 €

5.10. Edificio E14. Aulario del Campus Esgueva

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1986, cuenta con una superficie construida de 7.569 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante dos calderas de gasóleo de una potencia de 407 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 425 kW. En la Figura 141 se marca la ubicación del edificio.



Figura 141. Ubicación del Edificio E14 en el croquis del campus Río Esgueva

El modelo encontrado para predecir el consumo térmico del Edificio, fue

$$\text{kWh_E14_Pronosticado} = - 24.047,456 + 184,862 \times \text{GD20_24h}$$

El resumen del modelo, con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R²) se muestra en la Tabla 120 y en la Tabla 121, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 120. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E14

	Variable independiente 1	Constante	B	R	R ²
E14	GD20_24h	-24.047,456	184,862	0,923	0,853

Tabla 121. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E14

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo
1. Linealidad de las variables	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple

En la Figura 142, se representan el consumo real y el pronosticado con el modelo de regresión obtenido, en kWh.

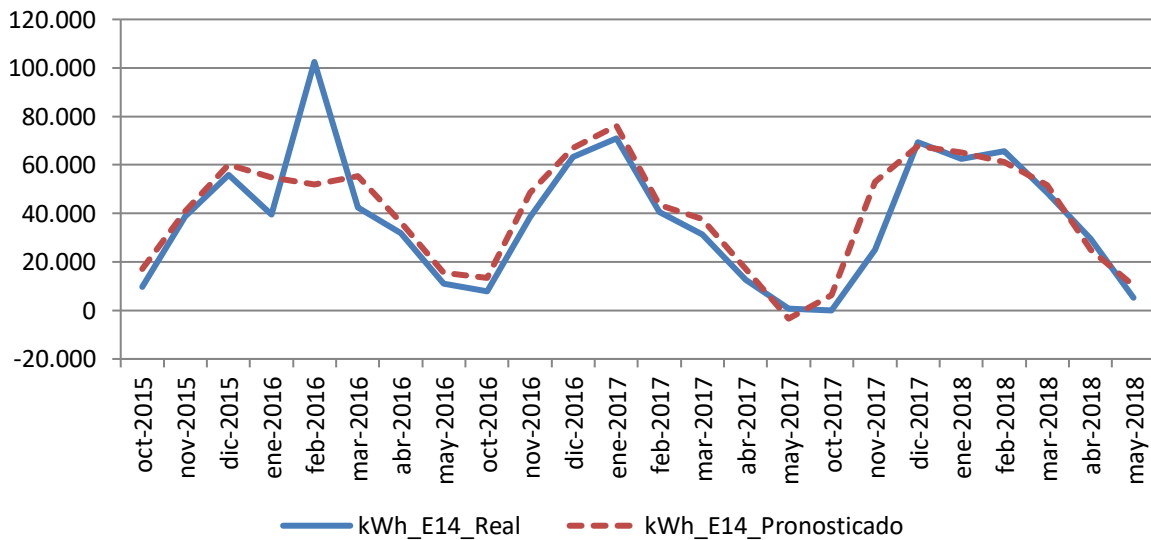


Figura 142. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E14. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 122

Tabla 122. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E14

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E14	0,1%	No	14,4%	SI	11,4%	No	8,1%	No

En la Figura 143, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E14, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

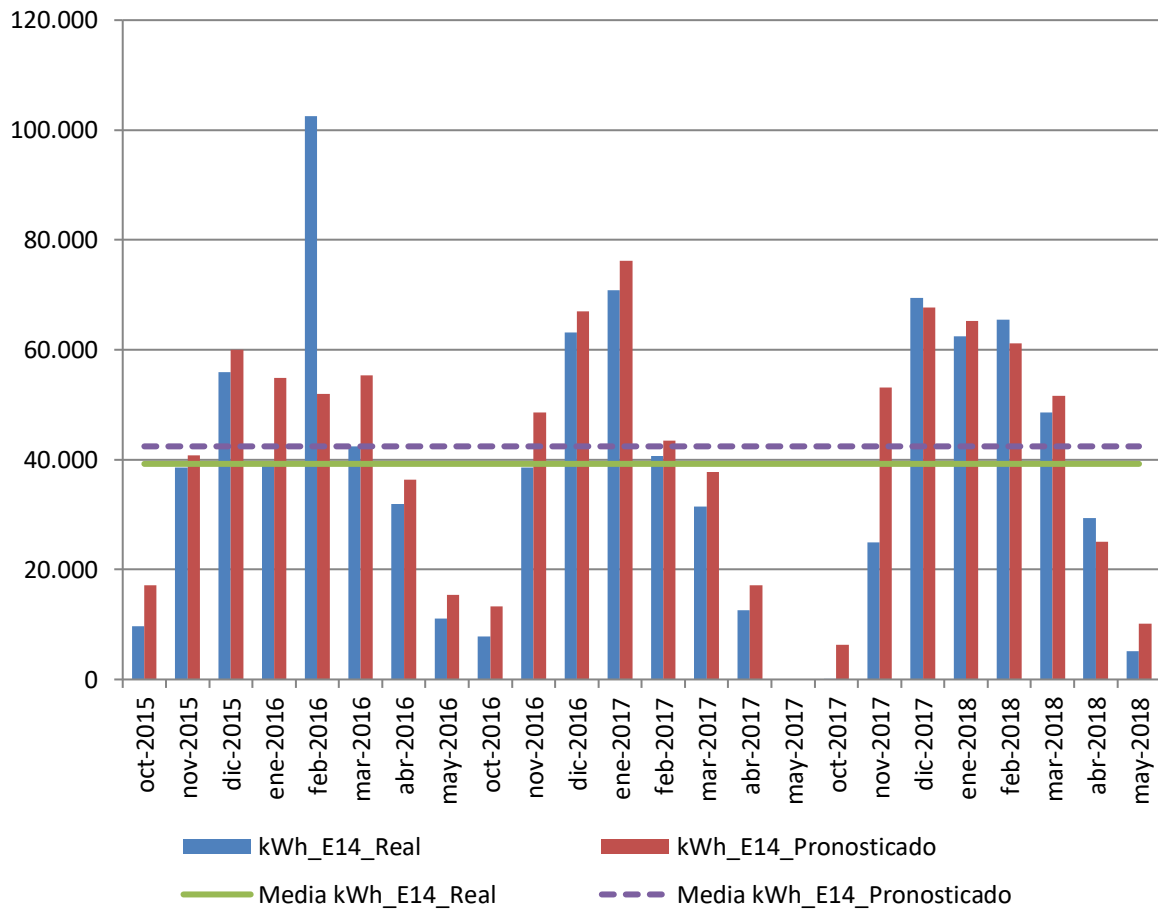


Figura 143. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14

En la Figura 144, se observa el consumo real del Edificio E14, en comparación con el consumo pronosticado acumulado que hubiera tenido el Edificio de no haberse incorporado a la red de calor y de haberse detectado diferencias significativas.

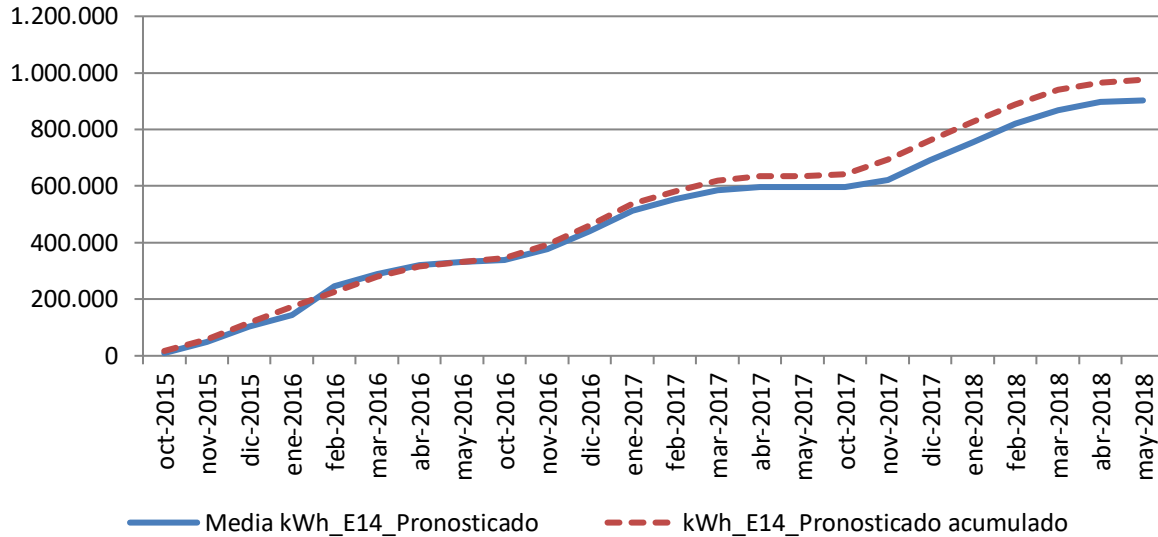


Figura 144. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 123

Tabla 123. Resumen de resultados. Edificio E14

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018	-	-
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-	-
Ahorro de emisiones de CO ₂	86,8%	244 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,0427 €/kWh	5.793 €

5.11. Edificio E15. Escuela de Ingenierías Industriales (sede Paseo del Cauce)

Edificio de tipo docente que empezó a funcionar en el año 1985, cuenta con una superficie construida de 18.512 m². Inicialmente la calefacción era suministrada mediante cuatro calderas de gas natural de una potencia total de 2.324 kW. La subestación de intercambio con la red de calor construida en el año 2015, cuenta con una potencia de 2.160 kW. En la Figura 145 se marca la ubicación del edificio.



Figura 145. Ubicación del Edificio E15 en el croquis del campus Río Esgueva

Los modelos encontrados para predecir el consumo térmico del Edificio, fueron:

Modelo 1: $kWh_{E15} = 417.713,362 - 29.001,808 \times T_{med}$ (No aceptado)

Modelo 2: $kWh_{E15} = 299.729,447 - 28.070,125 \times T_{med} + 15.392,005 \times V_{viento_max}$

El resumen de los modelos, con los coeficientes de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R^2) se muestra en la Tabla 124 y en la Tabla 125, el resultado de la verificación de los supuestos de la regresión lineal.

Tabla 124. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E15

	Variables independientes	Constante	B	R	R^2
E15_Modelo 1	Tmed	417.713,362	-29.001,808	-0,947	0,896
E15_Modelo 2	Tmed / V_max	299.729,447	-28.070,125 / 15.392,005	-0,962	0,925

Tabla 125. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E15

Cumplimiento de supuestos de la regresión lineal	Modelo 1	Modelo 2
1. Linealidad de las variables	Cumple	Cumple
2. Normalidad de variables	Cumple	Cumple
3. Independencia de los errores o no autocorrelación de los residuos	No Cumple	Cumple
4. Homocedasticidad de la varianza, los errores son aleatorios	Cumple	Cumple
5. Falta de multicolinealidad entre las variables independientes.		Cumple

En la Figura 146, se representan los consumos reales y los pronosticados con los modelos de regresión obtenidos, en kWh, aunque el Modelo 1 ha sido rechazado, por no cumplir todos los supuestos de la regresión lineal.

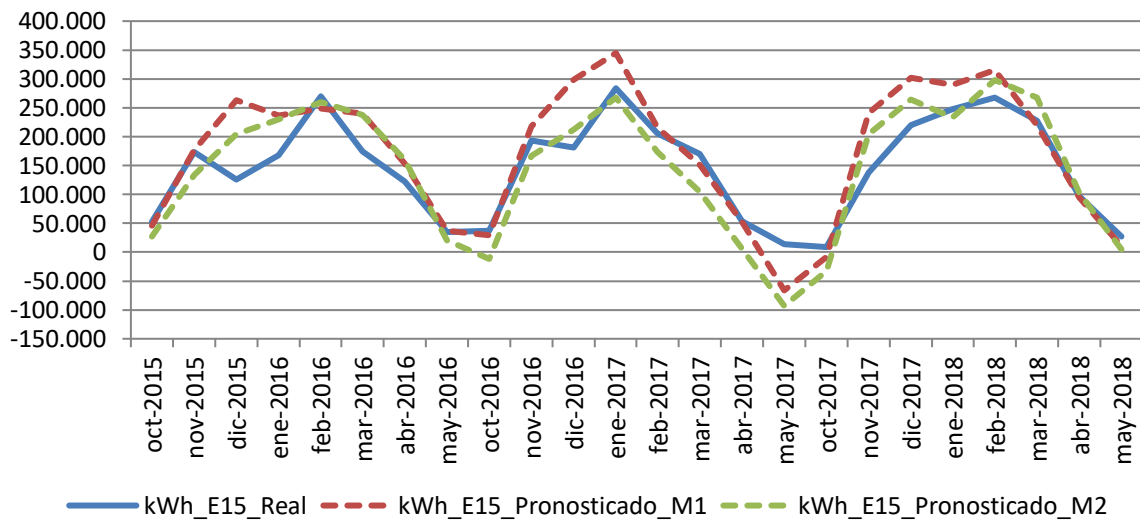


Figura 146. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E15. 2015-2018

Los resultados de las diferencias entre las medias de los consumos, se exponen en la Tabla 126

Tabla 126. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E15

	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E15_Modelo 2	4,2%	No	-14,4%	No	12,4%	No	4,2%	Pronosticos no normal

En la Figura 147 se grafican los consumos reales y pronosticados para el periodo Octubre 2015 – Mayo 2018 para el Edificio E15, y las medias de dichos consumos.

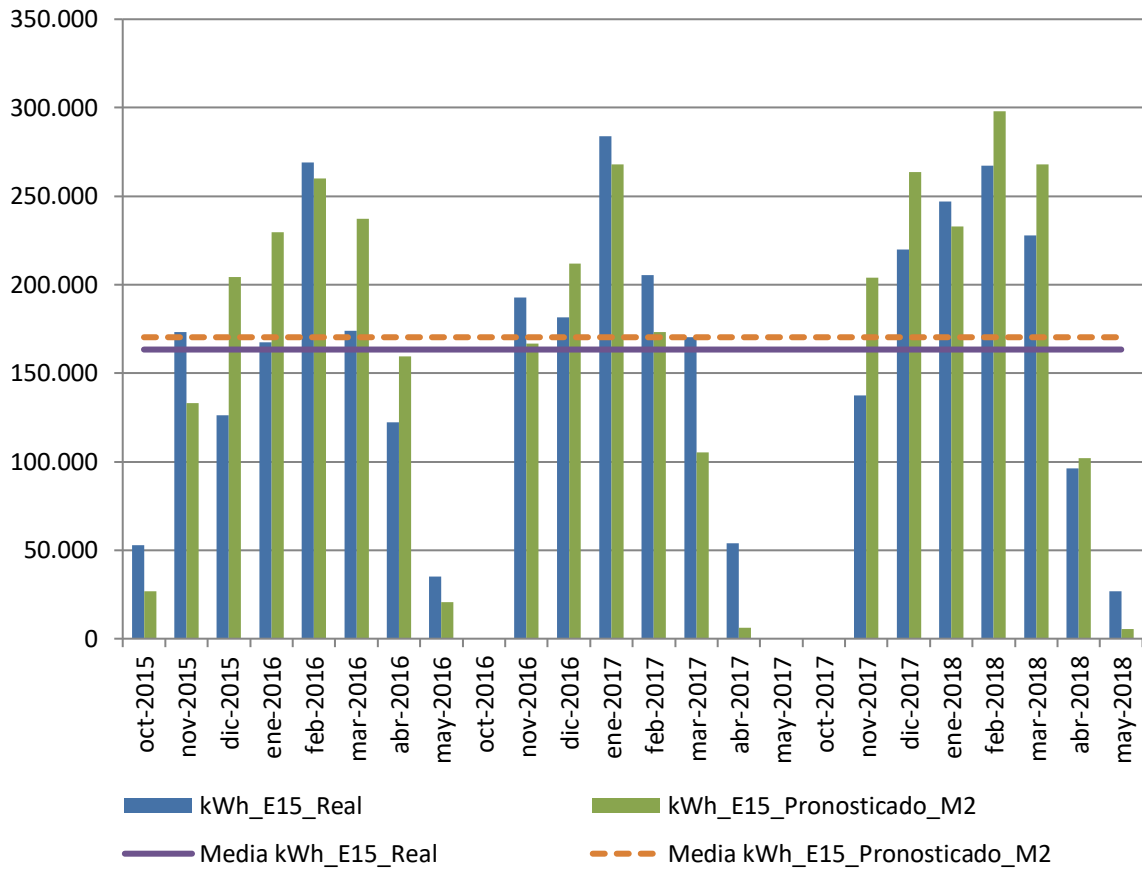


Figura 147. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E15

En la Figura 148, se observa el consumo real del Edificio E15, en comparación con el consumo pronosticado acumulado con el Modelo 2, si se hubieran detectado diferencias y si el Edificio no se hubiera incorporado a la red de calor.

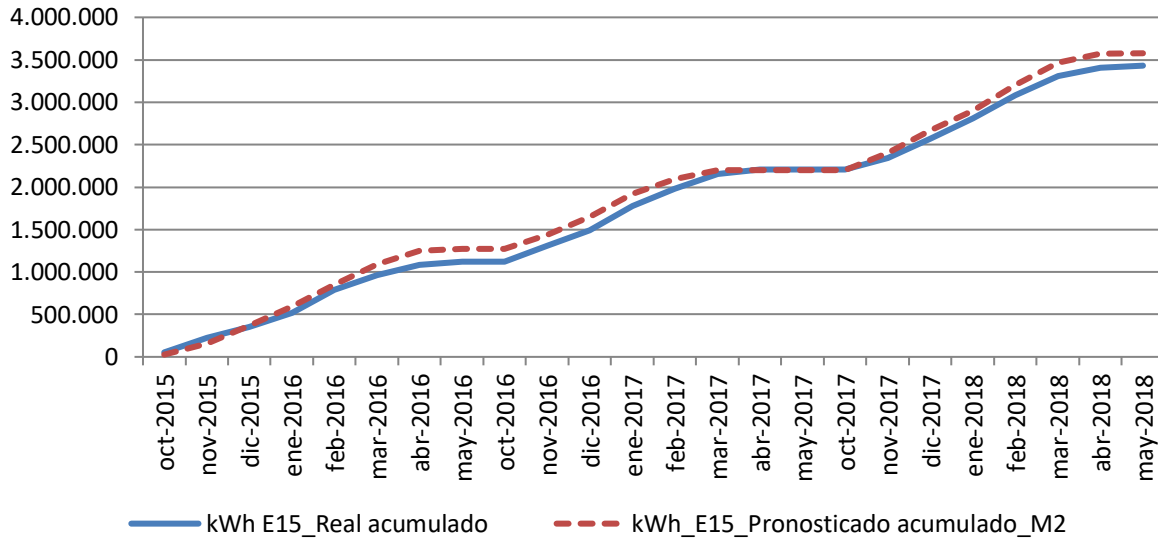


Figura 148. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E15

Los resultados del ahorro de consumos, emisiones y precio máximo de la energía útil comprada a la red para un ahorro económico del 15%, se exponen en la Tabla 127

Tabla 127. Resumen de resultados. Edificio E15

Diferencia significativa encontrada entre las medias de los consumos 2015-2018. Utilizando el Modelo 2 (por ser el de mayor coeficiente de correlación)	-	- kWh
Ahorro de consumo térmico durante las tres temporadas posteriores a la construcción de la red respecto a lo que se hubiera consumido de no ser por la red	-	- kWh
Ahorro de emisiones de CO ₂	88,0%	761 t CO ₂
Precio máximo de kWh útiles comprados a la red para obtener un ahorro del 15 %	0,02753 €/kWh	14.424 €

5.12. Resultados y discusión

En la Tabla 128 se muestran los modelos de línea base encontrados para los 11 edificios del Campus Río Esgueva. Para todos los edificios, excepto para el E15, se obtuvieron modelos válidos de regresión simple y para tres de ellos, además se hallaron modelos de regresión multivariable, recopilados en la Tabla 129. La regresión múltiple encontrada para el Edificio E8, no resultó válida por existir correlación entre los residuos y la variable independiente V_diurna.

Seis de los modelos de regresión simple (54,5%), tuvieron como variable independiente la Temperatura (tres, la temperatura mínima, dos la temperatura media y uno la temperatura máxima), los cuatro restantes (36,4%), tuvieron a los Grados día como variable independiente (dos en Base 15 obtenidos con datos cada 30 minutos, y dos en Base 20 obtenidos con datos diarios). El resto de las variables climáticas analizadas no mostraron influencias significativas en el consumo de los edificios de manera lineal.

Tabla 128. Resumen de modelos de regresión simple. Campus Río Esgueva

Edificio	Variable independiente	Constante	B	R	R ²
E1	GD20_24h	-97,801	44,252	0,655	0,429
E2	T_min	83.663,793	-7.896,580	-0,819	0,671
E3	T_min	219.817,236	-26.412,480	-0,918	0,843
E4	T_med	234.879,945	-16.850,392	-0,909	0,826
E5	GD15_30min	29.320,001	816,043	0,857	0,734
E6	T_med	99.745,107	-5.510,824	-0,939	0,883
E7	GD15_30min	-437,414	109,126	0,925	0,855
E8	T_min	381.573,782	-44.158,494	-0,801	0,641
E13	T_max	461.136,517	-21.706,507	-0,920	0,847
E14	GD20_24h	-24.047,456	184,862	0,923	0,853
E15 (*)	T_med	417.713,362	-29.001,808	-0,947	0,896

(*). Modelo no válido por existir autocorrelación en los residuos. Los residuos no son independientes

Tabla 129. Resumen de modelos de regresión múltiple. Campus Río Esgueva

	Variable independiente 1	Variable independiente 2	Constante	B1	B2	R	R ²
E3	T_min	V_diurna	130.691,591	-24.484,085	30.147,142	-0,950	0,902
E8 (**)	T_min	V_diurna	88.655,039	-37.820,664	99.081,056	-0,903	0,816
E15	T_med	V_max	299.729,447	-28.070,125	15.392,005	-0,962	0,925

(**) Modelo no válido. No hay homocedasticidad de la varianza. Existe correlación entre los residuos y V_durna.

Los dos modelos válidos encontrados de regresión múltiple correlacionaron con la Temperatura (mínima en un caso y media en el otro) y con la velocidad del viento, en el Edificio E3, con la velocidad del viento diurna y en el Edificio E15, con la velocidad del viento máxima. En estos modelos el resto de las variables climáticas tampoco mostraron correlaciones significativas. Los modelos de regresión múltiple presentan mejores coeficientes de correlación y determinación que los modelos de regresión simple para el mismo edificio.

Con excepción del Edificio E1, donde el coeficiente de correlación es de 0,655 y el coeficiente de determinación de 0,429, los modelos encontrados tienen un coeficiente de correlación superior a 0,80 en valor absoluto, siendo positivo para los modelos con los Grados día y negativo para los modelos con la Temperatura. El coeficiente de determinación es superior a 0,64, por lo que con los modelos encontrados se puede predecir más del 64% de los consumos futuros con un error del 5%.

En cuanto a las diferencias entre los consumos reales de las tres temporadas posteriores a la construcción de la red de calor y los consumos estimados o pronosticados que se hubieran obtenido en esas mismas temporadas si los edificios no se hubieran unido a la red de calor, como se muestra en la Tabla 130, se han obtenido diferencias significativas en 4 de los 11 edificios (36,4%), en 3 de los cuales las diferencias fueron positivas (se obtuvo ahorros energéticos con la incorporación a la red) y en el otro las diferencias encontradas fueron negativas, se obtuvo aumentos de consumo.

Los edificios que han obtenido ahorros significativos son:

- E1: Edificio del Servicio de Mantenimiento, cuyo horario de funcionamiento se identifica a los edificios de tipo docente, con 1.681 m² construidos, una potencia inicial instalada de 291 kW, en caldera de gasóleo, con 75 años de antigüedad hasta el 2015, un ratio de 150 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 868 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 82,8 % en las tres temporadas posteriores a la red de calor
- E3: Facultad de Filosofía y Letras, de tipo docente, con 21.709 m² construidos, una potencia inicial instalada de 930 kW, en calderas de gas natural, con 18 años de antigüedad hasta el 2015, de 101 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 2.369 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 29,9 % en las tres temporadas posteriores a la red de calor
- E5: Edificio Alfonso VIII, de tipo residencial, con 20.016 m² construidos, una potencia inicial instalada de 4.943 kW, con calderas de gasóleo, con 24 años de antigüedad hasta el 2015, de 168 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 680 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 23,2 % en las tres temporadas posteriores a la red de calor.

El edificio que ha obtenido un aumento significativo en su consumo térmico ha sido:

- E6: Edificio Colegio Mayor Femenino Santa Cruz, de tipo residencial, con 6.660 m² construidos, una potencia inicial instalada de 716 kW, en calderas de gas natural, con 34 años de antigüedad hasta el 2015, un ratio de 132 kWh/m² en el total de octubre 2012 a mayo 2014 y 1.225 horas de funcionamiento a carga nominal de las calderas durante ese periodo. Diferencia del 15,0% en las tres temporadas posteriores a la red de calor

En la Tabla 130 y Tabla 131, se muestran en verde los edificios que presentan ahorros significativos en los consumos y en naranja el que presentó aumento significativo.

Tabla 130. Resumen de diferencias significativas regresión simple. Campus Río Esgueva

Edificio	Variable independiente	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E1	GD20_24h	95,2%	kWh E1 real no normal	93,8%	SI	64,0%	SI	82,8%	SI
E2	T_min	14,7%	kWh E2 real no normal	20,5%	No	16,0%	No	17,0%	No
E3	T_min	51,3%	SI	25,8%	No	8,5%	No	29,9%	SI
E4	T_med	34,4%	No	154,0%	kWh E4 real no normal	179,3%	SI	100,9%	kWh E4 real no normal
E5	GD15_30min	18,4%	No	27,7%	SI	23,9%	SI	23,2%	SI
E6	T_med	-7,5%	No	-15,7%	SI	-20,7%	SI	-15,0%	SI
E7	GD15_30min	-3,0%	No	2,5%	No	-7,5%	No	-3,0%	No
E8	T_min	-4,2%	No	3,6%	No	14,0%	No	4,4%	No
E13	T_max	-11,0%	No	-29,4%	SI	-13,6%	SI	-18,0%	Pronosticos no normal
E14	GD20_24h	0,1%	No	14,4%	SI	11,4%	No	8,1%	No
E15	T_med	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 131. Resumen de diferencias significativas regresión múltiple. Campus Río Esgueva

Edificio	Variables independientes	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
E3	T_min V_diurna	33,8%	No	7,2%	No	1,6%	No	11,7%	No
E15	T_med V_max	4,2%	No	-14,4%	No	12,4%	No	4,2%	Pronosticos no normal

Un resumen de las características de los edificios, se muestra en la Tabla 132

Durante la primera temporada (octubre 2015-mayo 2016), sólo el edificio E3 mostró diferencias significativas en sus consumos. Durante la segunda temporada (octubre 2016 – mayo 2017), 3 edificios mostraron ahorros significativos y 1 aumento significativo en el consumo. Durante la tercera temporada (octubre 2017 – mayo 2018), 2 edificios mostraron ahorros significativos y 1 aumento significativos.

En el total de las tres temporadas, fueron 5 edificios los que presentaron ahorros y 2 los que presentaron aumentos de consumo

Tabla 132. Resumen de características de los edificios del Campus Río Esgueva

	Tipo	Combustible inicial	kWh total oct-12 – may-14	m ²	kWh/m ²	kW instalados Gas Natural	kW instalados subestación	h funcionamiento a carga nominal durante oct-12 – may14	Años de antigüedad hasta 2015
E1	Docente	Gasóleo	252.500	1.681	150,21	291	291	867,70	75
E2	Docente	Gasóleo	945.845	11.160	84,75	989	988	956,36	21
E3	Docente	Gas Natural	2.203.319	21.709	101,49	930	929	2.369,16	18
E4	Docente	Gasóleo	1.560.450	32.305	48,30	3.139	2.384	497,12	47
E5	Residencial	Gasóleo	3.362.492	20.016	167,99	4.943	3.800	680,25	24
E6	Residencial	Gas Natural	877.200	6.660	131,71	716	560	1.225,14	34
E7	Docente	Gas Natural	379.919	3.919	96,94	466	465	815,28	10
E8	Docente	Gas Natural	3.908.737	29.802	131,16	2.320	2.172	1.684,80	55
E13	Docente	Gas Natural	2.583.651	17.776	145,34	1.604	1.624	1.610,75	33
E14	Docente	Gasóleo	676.599	7.569	89,39	407	425	1.662,41	29
E15	Docente	Gas Natural	2.900.998	18.512	156,71	2.324	2.160	1.248,28	30
RIO ESGUEVA			19.651.710	171.109	114,85	18.129	15.798	1.083,99	

La Tabla 133 y Tabla 134, recopilan los consumos de los edificios del Campus Río Esgueva, se muestran los consumos reales y los estimados o pronosticados con los modelos de regresión validados como línea base del consumo de cada edificio.

Tabla 133. Consumo Real térmico de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh)

REAL	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E13	E14	E15	TOTAL
oct-12	18.417	36.834	17.828	14.142	117.869	26.717	7.328	44.728	26.441	25.019	14.487	349.810
nov-12	32.083	64.166	158.718	111.738	205.331	70.411	29.013	187.155	233.547	65.981	211.446	1.369.590
dic-12	16.491	47.219	168.403	153.434	303.000	69.423	34.243	192.809	246.803	70.700	285.072	1.587.597
ene-13	17.414	49.862	195.511	181.744	323.200	60.486	30.880	342.443	231.986	56.717	254.609	1.744.852
feb-13	16.595	84.570	241.484	239.369	296.940	77.600	32.427	348.845	231.133	54.283	314.998	1.938.244
mar-13	21.438	66.955	169.961	118.256	303.000	62.022	23.298	381.056	192.983	40.277	236.366	1.615.611
abr-13	16.161	50.475	122.600	79.149	195.940	47.899	18.563	183.948	106.846	32.185	146.559	1.000.325
may-13	12.902	30.436	66.794	11.169	101.000	31.816	7.021	62.781	53.047	28.487	50.082	455.534
oct-13	6.409	18.951	8.427	25.730	81.374	20.432	12.346	39.057	22	1.616	2.235	216.600
nov-13	17.455	51.613	111.525	127.313	221.626	61.042	26.338	237.231	143.684	55.254	187.533	1.240.614
dic-13	26.636	120.015	235.091	148.502	303.000	86.228	41.230	443.980	273.337	69.059	318.094	2.065.172
ene-14	14.990	88.737	192.743	114.800	298.152	67.999	36.151	349.596	336.166	51.061	258.821	1.809.216
feb-14	14.276	84.512	242.403	109.572	204.363	79.509	29.124	496.930	259.725	53.630	276.638	1.850.682
mar-14	11.000	78.485	160.164	80.574	101.667	51.450	24.955	367.450	148.360	46.470	208.852	1.279.427
abr-14	5.472	39.045	100.428	30.084	163.647	41.877	15.668	219.679	86.292	17.641	116.325	836.158
may-14	4.761	33.971	11.239	14.875	142.383	22.289	11.334	11.049	13.279	8.218	18.881	292.280
oct-15	2.410	7.380	15.000	8.100	46.600	18.867	4.549	52.860	34.000	9.687	53.000	252.453
nov-15	6.295	49.410	96.450	73.400	200.500	72.507	15.559	288.652	203.190	38.632	173.200	1.217.795
dic-15	5.973	46.960	72.750	59.700	153.300	53.670	11.035	212.113	149.940	55.921	126.100	947.462
ene-16	4.501	32.190	100.640	42.100	143.600	57.688	30.213	274.832	165.700	39.537	167.500	1.058.501
feb-16	22.898	144.460	195.869	197.706	356.509	109.816	63.667	452.764	367.886	102.472	269.211	2.283.258
mar-16	10.846	59.975	108.608	96.973	213.337	67.548	32.434	316.817	236.912	42.448	174.003	1.359.901
abr-16	8.541	43.230	77.055	65.845	197.436	61.805	22.115	266.496	175.949	31.991	122.200	1.072.663
may-16	2.444	10.969	16.782	16.189	59.265	22.683	8.218	56.485	32.710	11.087	35.033	271.866
oct-16	2.094	15.025	22.329	13.250	62.832	28.182	9.706	70.515	29.981	7.812	37.197	298.923
nov-16	8.681	68.720	138.878	43.359	198.634	77.281	26.341	337.657	262.380	38.585	192.797	1.393.314
dic-16	8.311	65.329	117.308	50.061	192.899	77.584	33.256	303.434	218.390	63.199	181.536	1.311.308
ene-17	15.891	98.867	234.302	53.139	269.378	93.129	37.659	440.599	386.780	70.886	283.796	1.984.427
feb-17	10.605	71.759	176.446	49.191	218.934	76.931	25.322	347.129	264.570	40.723	205.600	1.487.209
mar-17	9.821	51.050	150.460	51.117	187.634	67.113	21.876	295.002	179.680	31.425	170.464	1.215.642
abr-17	3.962	18.717	53.310	17.237	86.924	32.504	13.691	114.519	78.670	12.601	53.800	485.936
may-17	1.035	3.965	13.640	3.184	41.591	20.749	7.778	29.943	23.570	769	13.800	160.024
oct-17	1.462	5.110	11.920	4.400	31.700	23.998	5.393	29.261	18.590	1	8.772	140.608
nov-17	9.358	48.158	134.498	0	183.300	77.893	21.837	240.790	176.720	24.942	137.564	1.055.061
dic-17	12.659	80.392	173.668	95.300	252.700	98.278	36.608	316.883	264.900	69.441	220.020	1.620.849
ene-18	14.052	79.450	198.228	48.500	228.300	89.052	38.115	335.954	287.620	62.464	247.100	1.628.835
feb-18	17.125	99.180	257.218	64.100	296.600	108.817	43.138	399.029	307.970	65.539	267.216	1.925.932
mar-18	14.234	78.870	214.196	55.500	236.500	90.765	32.745	351.334	253.030	48.603	227.864	1.603.642
abr-18	6.280	33.930	97.846	24.100	114.600	41.843	22.137	153.387	118.064	29.414	96.348	737.949
may-18	2.132	9.060	22.440	8.600	51.300	25.939	12.372	38.661	22.920	5.144	26.700	225.268
TOTAL	454.110	2.168.001	4.903.162	2.701.502	7.386.863	2.371.843	955.683	9.633.856	6.843.774	1.579.922	6.391.820	45.390.537

Tabla 134. Consumo Pronosticado térmico de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh)

PRONOST	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E13	E14	E15	TOTAL
oct-12	18.417	36.834	17.828	14.142	117.869	26.717	7.328	44.728	26.441	25.019	14.487	349.810
nov-12	32.083	64.166	158.718	111.738	205.331	70.411	29.013	187.155	233.547	65.981	211.446	1.369.590
dic-12	16.491	47.219	168.403	153.434	303.000	69.423	34.243	192.809	246.803	70.700	285.072	1.587.597
ene-13	17.414	49.862	195.511	181.744	323.200	60.486	30.880	342.443	231.986	56.717	254.609	1.744.852
feb-13	16.595	84.570	241.484	239.369	296.940	77.600	32.427	348.845	231.133	54.283	314.998	1.938.244
mar-13	21.438	66.955	169.961	118.256	303.000	62.022	23.298	381.056	192.983	40.277	236.366	1.615.611
abr-13	16.161	50.475	122.600	79.149	195.940	47.899	18.563	183.948	106.846	32.185	146.559	1.000.325
may-13	12.902	30.436	66.794	11.169	101.000	31.816	7.021	62.781	53.047	28.487	50.082	455.534
oct-13	6.409	18.951	8.427	25.730	81.374	20.432	12.346	39.057	22	1.616	2.235	216.600
nov-13	17.455	51.613	111.525	127.313	221.626	61.042	26.338	237.231	143.684	55.254	187.533	1.240.614
dic-13	26.636	120.015	235.091	148.502	303.000	86.228	41.230	443.980	273.337	69.059	318.094	2.065.172
ene-14	14.990	88.737	192.743	114.800	298.152	67.999	36.151	349.596	336.166	51.061	258.821	1.809.216
feb-14	14.276	84.512	242.403	109.572	204.363	79.509	29.124	496.930	259.725	53.630	276.638	1.850.682
mar-14	11.000	78.485	160.164	80.574	101.667	51.450	24.955	367.450	148.360	46.470	208.852	1.279.427
abr-14	5.472	39.045	100.428	30.084	163.647	41.877	15.668	219.679	86.292	17.641	116.325	836.158
may-14	4.761	33.971	11.239	14.875	142.383	22.289	11.334	11.049	13.279	8.218	18.881	292.280
oct-15	9.754	7.380	21.724	8.100	108.511	29.104	4.549	52.860	34.000	9.687	53.000	338.669
nov-15	15.432	49.410	110.038	73.400	199.353	53.993	15.559	288.652	203.190	38.632	173.200	1.220.859
dic-15	20.028	46.960	188.046	59.700	274.210	70.376	11.035	212.113	149.940	55.921	126.100	1.214.429
ene-16	18.787	32.190	150.472	42.100	251.229	65.389	30.213	274.832	165.700	39.537	167.500	1.237.949
feb-16	18.104	144.460	185.536	197.706	246.684	67.698	63.667	452.764	367.886	102.472	269.211	2.116.188
mar-16	18.912	59.975	214.628	96.973	254.823	65.889	32.434	316.817	236.912	42.448	174.003	1.513.815
abr-16	14.372	43.230	118.649	65.845	177.058	49.593	22.115	266.496	175.949	31.991	122.200	1.087.498
may-16	9.348	10.969	44.745	16.189	110.382	27.474	8.218	56.485	32.710	11.087	35.033	362.641
oct-16	8.846	15.025	31.276	13.250	108.751	25.926	9.706	70.515	29.981	7.812	37.197	358.287
nov-16	17.291	68.720	160.970	43.359	229.814	61.716	26.341	337.657	262.380	38.585	192.797	1.439.631
dic-16	21.684	65.329	204.813	50.061	304.532	77.035	33.256	303.434	218.390	63.199	181.536	1.523.270
ene-17	23.887	98.867	294.505	53.139	345.116	85.876	37.659	440.599	386.780	70.886	283.796	2.121.111
feb-17	16.060	71.759	161.993	49.191	214.366	61.395	25.322	347.129	264.570	40.723	205.600	1.458.107
mar-17	14.705	51.050	151.486	51.117	195.114	48.993	21.876	295.002	179.680	31.425	170.464	1.210.913
abr-17	9.757	18.717	118.701	17.237	135.178	30.440	13.691	114.519	78.670	12.601	53.800	603.313
may-17	4.849	3.965	0	3.184	74.086	7.785	7.778	29.943	23.570	769	13.800	169.729
oct-17	7.180	5.110	42.709	4.400	104.653	18.676	5.393	29.261	18.590	1	8.772	244.746
nov-17	18.368	48.158	227.204	0	250.958	66.180	21.837	240.790	176.720	24.942	137.564	1.212.722
dic-17	21.863	80.392	231.336	95.300	307.800	77.747	36.608	316.883	264.900	69.441	220.020	1.722.291
ene-18	21.274	79.450	202.496	48.500	296.935	75.381	38.115	335.954	287.620	62.464	247.100	1.695.289
feb-18	20.311	99.180	271.463	64.100	291.486	80.304	43.138	399.029	307.970	65.539	267.216	1.909.736
mar-18	18.007	78.870	147.456	55.500	237.427	62.257	32.745	351.334	253.030	48.603	227.864	1.513.093
abr-18	11.656	33.930	68.518	24.100	146.264	38.320	22.137	153.387	118.064	29.414	96.348	742.138
may-18	8.095	9.060	13.203	8.600	93.303	22.443	12.372	38.661	22.920	5.144	26.700	260.502
TOTAL	621.069	2.168.001	5.565.285	2.701.502	8.320.528	2.147.192	955.683	9.633.856	6.843.774	1.579.922	6.391.820	46.928.634

La Tabla 135 y Figura 149, muestran el resumen del ahorro energético que se ha obtenido en cada uno de los edificios del Campus Río Esgueva y en el conjunto del Campus, durante las tres temporadas de calefacción siguientes a la puesta en marcha de la red de calor, siendo este del 5,5% lo que equivale a un ahorro de 1.142.561 kWh.

Tabla 135. Resumen de ahorro de energía térmica del Campus Río Esgueva (kWh)

kWh térmicos	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E13	E14	E15	TOTAL
TOTAL Pronost oct-15-may-18	368.569	1.222.156	3.361.966	1.141.052	4.958.036	1.269.992	575.765	5.725.119	4.260.123	903.323	3.490.822	27.276.924
TOTAL Real oct-15-may-18	201.610	1.222.156	2.686.203	1.141.052	4.024.371	1.494.643	575.765	5.725.119	4.260.123	903.323	3.490.822	25.725.187
Ahorro (kWh)	166.959	0	675.763	0	933.665	-224.650	0	0	0	0	0	1.551.737
Ahorro (%)	45,3%	0,0%	20,1%	0,0%	18,8%	-17,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,7%
Diferencias en las medias	82,8%	0,0%	25,2%	0,0%	23,2%	-15,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	6,0%

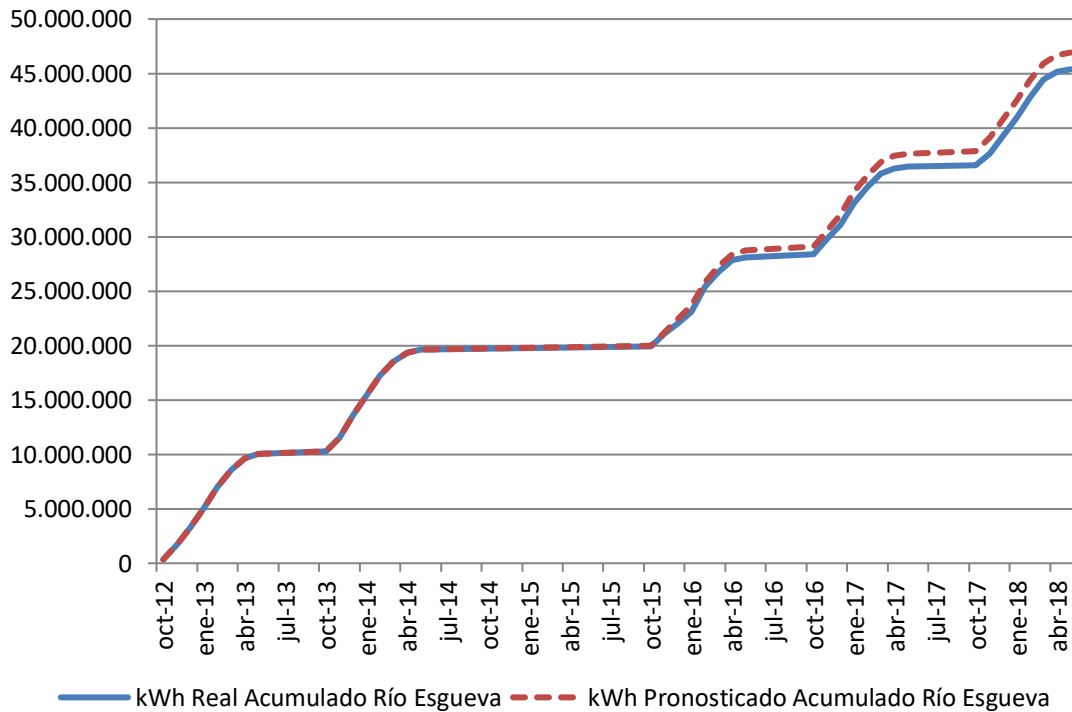


Figura 149. Consumo real acumulado y pronosticado (kWh). Campus Río Esgueva

La Tabla 136 y Figura 150, muestran el resumen del ahorro de emisiones de CO₂, que se ha obtenido en cada uno de los edificios del Campus Río Esgueva y en el conjunto del Campus, durante las tres temporadas de calefacción siguientes a la puesta en marcha de la red de calor, siendo este del 87,9% lo que equivale a un ahorro de 6.346 toneladas de CO₂.

Tabla 136. Ahorro de emisiones CO₂ del Campus Río Esgueva (kg CO₂)

Ahorro CO ₂ (kg CO ₂)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E13	E14	E15	TOTAL
oct-15	2.976	2.118	3.420	2.325	32.629	4.302	1.037	12.052	7.752	2.780	12.084	83.474
nov-15	4.648	14.181	21.991	21.066	57.187	16.532	3.547	65.813	46.327	11.087	39.490	301.868
dic-15	6.085	13.478	16.587	17.134	81.600	12.237	2.516	48.362	34.186	16.049	28.751	276.985
ene-16	5.735	9.239	22.946	12.083	74.686	13.153	6.889	62.662	37.780	11.347	38.190	294.708
feb-16	2.149	22.725	29.806	26.892	41.168	19.182	7.510	87.396	61.254	18.542	51.163	367.787
mar-16	5.592	15.880	24.289	23.706	71.522	14.353	7.226	70.804	47.802	11.474	37.552	330.200
abr-16	4.243	11.867	17.554	16.503	49.627	13.749	5.026	60.641	39.378	8.768	27.862	255.217
may-16	2.846	3.131	3.819	3.875	32.744	4.524	1.868	12.879	7.458	2.316	5.335	80.795
oct-16	2.592	2.965	3.684	2.353	25.474	4.222	1.259	12.768	-1.878	1.465	-2.830	52.076
nov-16	5.094	18.641	31.133	11.738	65.375	17.443	5.931	76.032	59.102	10.757	42.431	343.678
dic-16	6.544	18.440	26.544	10.562	89.219	17.686	7.571	69.086	49.766	17.038	40.447	352.903
ene-17	7.041	27.454	52.803	14.207	98.835	20.989	8.586	99.603	88.168	20.329	64.592	502.606
feb-17	4.729	19.869	39.998	12.398	61.059	17.531	5.773	78.392	60.185	11.679	46.877	358.491
mar-17	4.322	14.651	34.250	14.407	55.823	15.294	4.988	67.003	40.821	9.019	38.714	299.294
abr-17	2.939	5.350	11.854	4.133	39.804	7.404	3.122	26.005	17.937	3.444	12.266	134.256
may-17	1.461	1.036	-327	-990	21.270	4.720	1.660	-770	-566	-27	-331	27.136
oct-17	2.198	1.467	2.700	-106	31.786	2.921	535	6.259	-446	0	-364	46.950
nov-17	5.488	13.821	30.117	0	73.649	17.727	4.973	54.451	40.292	7.158	31.259	278.935
dic-17	6.496	23.073	39.503	27.351	89.661	22.384	8.347	71.781	60.397	19.930	50.092	419.013
ene-18	6.279	22.802	45.003	13.920	86.868	20.244	8.665	75.926	65.577	17.927	56.339	419.549
feb-18	5.906	28.465	58.370	18.397	83.534	24.794	9.806	90.763	70.217	18.810	60.922	469.983
mar-18	5.258	22.636	48.459	15.929	68.164	20.472	7.428	79.770	56.751	13.949	51.756	390.572
abr-18	3.474	9.738	22.287	6.917	42.738	9.540	4.951	34.908	26.703	8.442	21.956	191.654
may-18	2.466	2.600	5.116	-206	27.786	5.914	2.821	8.815	5.226	1.476	6.088	68.102
Ahorro kg CO₂	106.562	325.624	591.905	274.591	1.402.208	327.315	122.035	1.271.401	920.191	243.760	760.640	6.346.232
kg CO ₂ antes	114.625	380.091	676.923	349.834	1.541.949	376.650	145.093	1.435.184	1.055.372	280.694	864.625	7.221.040
% Ahorro	93,0%	85,7%	87,4%	78,5%	90,9%	86,9%	84,1%	88,6%	87,2%	86,8%	88,0%	87,9%

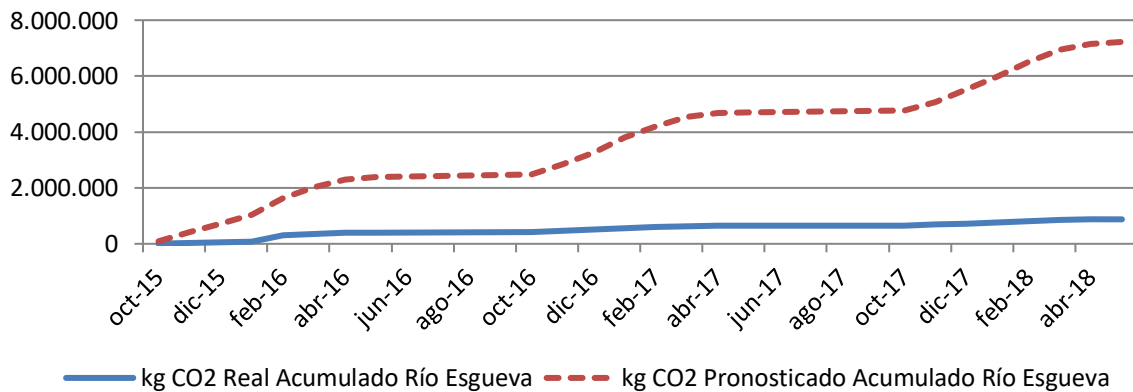


Figura 150. Emisiones reales acumuladas y pronosticadas (kg CO₂). Campus Río Esgueva

En la Tabla 137 se muestran los precios que hubieran tenido que tener los kWh comprados a la red de calor, para obtener un ahorro económico del 0% y del 15 %, durante las tres temporadas siguientes a la ejecución de la red, con respecto a lo que hubiera pagado la Universidad por la compra de la energía al suministrador de gas natural o gasóleo de no haberse conectado a la red de calor.

Tabla 137. Precios máximos de compra de la energía a la red de calor

	€/kWh max comprado para 0% ahorro económico	€/kWh max comprado para 15% ahorro económico
E1	0,09280	0,08040
E2	0,04970	0,04280
E3	0,03210	0,02778
E4	0,04815	0,04088
E5	0,06140	0,05317
E6	0,03230	0,02790
E7	0,03208	0,02758
E8	0,03208	0,02778
E13	0,03166	0,02740
E14	0,04952	0,04270
E15	0,03176	0,02753
RÍO ESGUEVA (min)	0,03166	0,02740

Se han estimado que los precios que se hubieran pagado por los combustibles fósiles son los que figuran en la Tabla 138

Tabla 138. Precios estimados para los combustibles

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018	Promedio
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,056	0,050325
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336	0,033225
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239	0,02565

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones sobre la metodología

La metodología propuesta para la verificación de la existencia de diferencias significativas entre los consumos anteriores y posteriores a la construcción de la red, se ha podido llevar a cabo en todos los edificios estudiados, obteniéndose primero los modelos de las líneas base de los consumos de los edificios, mediante el tratamiento de los datos de los consumos de las dos temporadas anteriores a la red con las variables climáticas.

En la Tabla 139 se muestran los modelos de línea base encontrados para los 23 edificios de la UVA.

Tabla 139. Resumen de modelos de regresión simple. UVA

Edificio	Variable independiente	Constante	B	R	R ²
D1	T_med	391.037,854	-23.838,939	-0,899	0,808
D2	GD15_30min	-663,338	38,971	0,985	0,970
D3	GD15_30min	-6.854,944	192,510	0,921	0,848
D4	T_med	271.046,123	-17.453,026	-0,940	0,888
D5	GD15_30min	-653,894	56,535	0,993	0,986
D6	GD15_30min	-6.540,157	656,818	0,995	0,989
D7	GD15_30min	-6.543,072	733,335	0,996	0,991
D8	T_med	91.484,519	-5.414,103	-0,906	0,821
D9	GD15_30min	-654,602	139,864	0,999	0,998
D10	T_med	66.791,063	-4.393,782	-0,896	0,802
D11	T_med	187.840,052	-12.648,948	-0,898	0,807
D12	GD15_30min	-663,549	173,214	0,999	0,998
E1	GD20_24h	-97,801	44,252	0,655	0,429
E2	T_min	83.663,793	-7.896,580	-0,819	0,671
E3	T_min	219.817,236	-26.412,480	-0,918	0,843
E4	T_med	234.879,945	-16.850,392	-0,909	0,826
E5	GD15_30min	29.320,001	816,043	0,857	0,734
E6	T_med	99.745,107	-5.510,824	-0,939	0,883
E7	GD15_30min	-437,414	109,126	0,925	0,855
E8	T_min	381.573,782	-44.158,494	-0,801	0,641
E13	T_max	461.136,517	-21.706,507	-0,920	0,847
E14	GD20_24h	-24.047,456	184,862	0,923	0,853
E15 (*)	T_med	417.713,362	-29.001,808	-0,947	0,896

(*). Modelo no válido por existir autocorrelación en los residuos. Los residuos no son independientes

Para todos los edificios, excepto para el E15, se obtuvieron modelos válidos de regresión simple. Once de los modelos de regresión simple (un 47,8%) tuvieron como variable independiente los grados día (nueve en Base 15 obtenidos con datos cada 30 minutos y dos en Base 20 obtenidos con datos diarios); el resto de los modelos correlacionaron con la Temperatura (siete de ellos, sin contar el edificio E15, con la Temperatura media, tres con la temperatura mínima y uno con la temperatura máxima). El resto de las variables climáticas analizadas no mostraron influencias significativas en el consumo de los edificios de manera lineal.

Como se refleja en la Tabla 140, para cuatro de los 23 edificios (un 17,4%) se encontraron modelos de regresión multivariable válidos. Por lo que se afirma que para el 100 % de los edificios analizados se encontraron modelos de regresión que podrán ser utilizados para predecir el consumo del edificio. Los modelos de regresión múltiple correlacionaron como la Temperatura y con la velocidad del viento, en tres de los cuatro se trató de la temperatura media y en uno de ellos de la Temperatura mínima; en cuanto a la velocidad, en dos de ellos fue la velocidad del viento diurna, en otro la velocidad del viento nocturna y en el otro de la velocidad del viento máxima. En estos modelos el resto de las variables climáticas tampoco mostraron correlaciones significativas.

Tabla 140. Resumen de modelos de regresión múltiple UVA

	Variable independiente 1	Variable independiente 2	Constante	B1	B2	R	R ²
D1	T_med	V_nocturna	271.370,906	-20.045,184	50568,513	-0,931	0,866
D8	T_med	V_diurna	63357,055	-4991,184	8950,19	0,945	0,894
D11 (*)	Tmed	GD15	630672,573	-38572,601	-1044,773	-0,931	0,866
E3	T_min	V_diurna	130.691,591	-24.484,085	30.147,142	-0,950	0,902
E8 (**)	T_min	V_diurna	88.655,039	-37.820,664	99.081,056	-0,903	0,816
E15	T_med	V_max	299.729,447	-28.070,125	15.392,005	-0,962	0,925

(*) Modelo no válido. Multicolinealidad entre las variables

(**) Modelo no válido. No hay homocedasticidad de la varianza. Existe correlación entre los residuos y V_durna.

Los modelos de regresión múltiple presentan mejores coeficientes de correlación y determinación que los modelos de regresión simple para el mismo edificio.

Aunque es común la práctica de utilizar los grados día para desglosar el consumo de un edificio por meses, de hecho se considera la forma más conveniente de hacerlo cuando no se dispone de contadores de energía que puedan efectuar de una manera directa ese desglose, tal como se recoge en numerosos estudios (Euronet) [122], (Bromley, 2009) [123], (Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), 2011) [124], (Agencia Chilena de Eficiencia Energética. AchEE, 2014) [125]; ningún modelo de correlación múltiple encontrado ha correlacionado con esta variable.

Con excepción del Edificio E1, donde el coeficiente de correlación es de 0,655 y el coeficiente de determinación de 0,429, los modelos encontrados tienen un coeficiente de correlación superior a 0,80 en valor absoluto, siendo positivo para los modelos con los Grados día y negativo para los modelos con la Temperatura. El coeficiente de determinación es superior a 0,64, por lo que con los modelos encontrados se puede predecir más del 64% de los consumos futuros con un error del 5%.

En cuanto a las diferencias entre los consumos reales de las tres temporadas posteriores a la construcción de la red de calor y los consumos estimados o pronosticados que se hubieran obtenido en esas mismas temporadas si los edificios no se hubieran unido a la red de calor, como se muestra en la Tabla 141 y Tabla 142, se han obtenido diferencias significativas en 11 de los 23 edificios (47,8%), en 8 de los cuales las diferencias fueron positivas (se obtuvo ahorros energéticos con la incorporación a la red) y en tres las diferencias encontradas fueron negativas, se obtuvo aumentos de consumo. En dichas tablas se muestran en verde los edificios que presentan ahorros significativos en los consumos y en naranja los que presentaron aumentos significativos.

Durante la primera temporada (octubre 2015-mayo 2016), sólo dos edificios (D1 y E3) mostraron diferencias significativas en sus consumos. Durante la segunda temporada (octubre 2016 – mayo 2017), 5 edificios mostraron ahorros significativos y 2 aumento significativo en el consumo. Durante la tercera temporada (octubre 2017 – mayo 2018), 4 edificios mostraron ahorros significativos y 2 aumento significativos.

En el total de las tres temporadas, fueron 8 edificios los que presentaron ahorros y 3 los que presentaron aumentos de consumo

Capítulo 6. Conclusiones

Tabla 141. Resumen de diferencias significativas regresión simple UVA

Edificio	Variable independiente	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D1	T_med	22,7%	SI	27,3%	SI	18,5%	SI	22,5%	SI
D2	GD15_30min	38,2%	No	50,6%	SI	37,0%	SI	41,5%	SI
D3	GD15_30min	5,1%	No	22,1%	No	16,7%	No	14,2%	SI
D4	T_med	24,1%	No	13,1%	No	8,8%	No	14,9%	SI
D5	GD15_30min	-23,7%	No	-10,7%	No	-11,3%	No	-15,6%	SI
D6	GD15_30min	-13,8%	No	-5,9%	No	-11,5%	No	-10,6%	No
D7	GD15_30min	8,5%	No	16,2%	No	14,9%	No	13,1%	No
D8	T_med	-1,7%	No	-18,8%	SI	-23,4%	SI	-15,6%	SI
D9	GD15_30min	3,8%	No	-1,8%	No	-6,2%	No	-1,7%	No
D10	T_med	6,1%	No	6,6%	No	8,9%	No	7,2%	No
D11	T_med	14,8%	No	16,6%	No	6,1%	No	12,1%	No
D12	GD15_30min	13,8%	No	34,6%	SI	10,6%	No	18,5%	SI
E1	GD20_24h	95,2%	kWh E1 real no normal	93,8%	SI	64,0%	SI	82,8%	SI
E2	T_min	14,7%	kWh E2 real no normal	20,5%	No	16,0%	No	17,0%	No
E3	T_min	51,3%	SI	25,8%	No	8,5%	No	29,9%	SI
E4	T_med	34,4%	No	154,0%	kWh E4 real no normal	179,3%	SI	100,9%	kWh E4 real no normal
E5	GD15_30min	18,4%	No	27,7%	SI	23,9%	SI	23,2%	SI
E6	T_med	-7,5%	No	-15,7%	SI	-20,7%	SI	-15,0%	SI
E7	GD15_30min	-3,0%	No	2,5%	No	-7,5%	No	-3,0%	No
E8	T_min	-4,2%	No	3,6%	No	14,0%	No	4,4%	No
E13	T_max	-11,0%	No	-29,4%	SI	-13,6%	SI	-18,0%	Pronosticos no normal
E14	GD20_24h	0,1%	No	14,4%	SI	11,4%	No	8,1%	No
E15	T_med	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 142. Resumen de diferencias significativas regresión múltiple UVA

Edificio	Variables independientes	% Diferencia 2015-2016	Significativo	% Diferencia 2016-2017	Significativo	% Diferencia 2017-2018	Significativo	% Diferencia 2015-2018	Significativo
D1	T_med V_nocturna	10,2%	No	11,8%	No	12,4%	No	11,5%	No Normal
D8	GD15 V_diurna	-13,0%	No	-31,2%	SI	-29,0%	SI	-25,0%	SI
E3	T_min V_diurna	33,8%	No	7,2%	No	1,6%	No	11,7%	No
E15	T_med V_max	4,2%	No	-14,4%	No	12,4%	No	4,2%	Pronosticos no normal

Un resumen de las características de los edificios, se muestra en la Tabla 143

Tabla 143. Resumen de características de los edificios de la UVA

	Tipo	Tipo de combustible	kWh total oct-12 – may-14	m ²	kWh/m ²	kW instalados Gas Natural	kW instalados subestación	h funcionamiento a carga nominal durante oct-12 – may14	Años de hasta 2015
D1	Residencial	Gas Natural	2.917.883	17.616	165,64	1.554	1.454	1.877,66	19
D2	Docente	Gas Natural	127.560	464	274,91	41	42	3.111,22	19
D3	Docente	Gas Natural	572.885	5.487	104,41	348	342	1.646,22	8
D4	Docente	Gas Natural	2.060.198	14.541	141,68	1.140	1.140	1.807,19	3
D5	Docente	Gas Natural	189.987	4.146	45,82	81	80	2.345,52	7
D6	Docente	Gas Natural	2.224.169	19.137	116,22	1.162	1.120	1.914,09	6
D7	Docente	Gas Natural	2.495.431	20.179	123,66	1.956	1.620	1.275,78	18
D8	Docente	Gas Natural	757.645	5.610	135,05	466	460	1.625,85	7
D9	Deportivo	Gas Natural	485.432	3.673	132,16	508	504	955,57	14
D10	Docente	Gas Natural	495.620	5.636	87,94	326	326	1.520,31	19
D11	Docente	Gas Natural	1.355.765	14.943	90,73	1.000	1.000	1.355,77	14
D12	Docente	Gas Natural	603.534	7.412	81,43	802	802	752,54	8
DELIBES			14.286.109	118.844	120,21	9.385	8.890	1.522,23	
E1	Docente	Gasóleo	252.500	1.681	150,21	291	291	867,70	75
E2	Docente	Gasóleo	945.845	11.160	84,75	989	988	956,36	21
E3	Docente	Gas Natural	2.203.319	21.709	101,49	930	929	2.369,16	18
E4	Docente	Gasóleo	1.560.450	32.305	48,30	3.139	2.384	497,12	47
E5	Residencial	Gasóleo	3.362.492	20.016	167,99	4.943	3.800	680,25	24
E6	Residencial	Gas Natural	877.200	6.660	131,71	716	560	1.225,14	34
E7	Docente	Gas Natural	379.919	3.919	96,94	466	465	815,28	10
E8	Docente	Gas Natural	3.908.737	29.802	131,16	2.320	2.172	1.684,80	55
E13	Docente	Gas Natural	2.583.651	17.776	145,34	1.604	1.624	1.610,75	33
E14	Docente	Gasóleo	676.599	7.569	89,39	407	425	1.662,41	29
E15	Docente	Gas Natural	2.900.998	18.512	156,71	2.326	2.160	1.247,20	30
RÍO ESGUEVA			19.651.710	171.109	114,85	18.129	15.798	1.083,99	
UVA			33.937.819	289.953	117,05	27.514	24.688	1.233,65	

El 42,1% de la energía consumida por los edificios de la UVA (14.286 MWh), durante las dos temporadas anteriores a la construcción de red, fue en los doce edificios del campus Miguel Delibes, en el Campus Río Esgueva, se consumió el 57,9% de la energía restante (19.652 MWh).

El ratio de kWh /m² durante esas dos temporadas de calefacción en los edificios de la UVA, fue de 117, siendo mayor el ratio en los edificios del Campus Miguel Delibes (120), que los edificios del Campus del Río Esgueva (115)

Tan sólo 5 de los 23 edificios de la UVA (21,7%) consumieron Gasóleo C para satisfacer sus necesidades térmicas, el resto de los 18 edificios (78,3%), consumieron Gas Natural.

Con la red de calor, la potencia en las subestaciones se redujo en 2.826 kW, lo que representa una reducción del 10,3 % de la potencia inicialmente instalada en las salas de calderas de los edificios de la UVA

Capítulo 6. Conclusiones

En la Tabla 144, se muestran los consumos reales y pronosticados con los modelos de regresión encontrados para los edificios del Campus Miguel Delibes y los edificios del Campus Río Esgueva y para el conjunto total de los edificios de la UVA, conectados a red.

Tabla 144. Consumo Real térmico y pronosticado de los edificios de la UVA (kWh)

REAL	CONSUMOS REALES				CONSUMOS PRONOSTICADOS			
	DELIBES	RÍO ESGUEVA	TOTAL	TOTAL ACUMULADO	DELIBES	RÍO ESGUEVA	TOTAL	TOTAL ACUMULADO
oct-12	345.753	349.810	695.563	695.563	345.752	349.810	695.562	695.562
nov-12	1.042.627	1.369.590	2.412.217	3.107.780	1.042.627	1.369.590	2.412.218	3.107.779
dic-12	1.190.619	1.587.597	2.778.216	5.885.996	1.190.619	1.587.597	2.778.216	5.885.995
ene-13	1.279.157	1.744.852	3.024.008	8.910.005	1.279.157	1.744.852	3.024.008	8.910.004
feb-13	1.343.958	1.938.244	3.282.202	12.192.207	1.343.958	1.938.244	3.282.202	12.192.206
mar-13	1.019.870	1.615.611	2.635.481	14.827.688	1.019.872	1.615.611	2.635.483	14.827.689
abr-13	823.873	1.000.325	1.824.198	16.651.885	823.873	1.000.325	1.824.198	16.651.886
may-13	521.472	455.534	977.007	17.628.892	521.473	455.534	977.007	17.628.893
oct-13	296.925	216.600	513.525	18.142.417	296.927	216.600	513.526	18.142.420
nov-13	693.017	1.240.614	1.933.631	20.076.048	693.015	1.240.614	1.933.630	20.076.049
dic-13	1.538.561	2.065.172	3.603.733	23.679.781	1.538.562	2.065.172	3.603.734	23.679.783
ene-14	1.295.691	1.809.216	3.104.907	26.784.688	1.295.691	1.809.216	3.104.906	26.784.690
feb-14	1.308.271	1.850.682	3.158.953	29.943.640	1.308.272	1.850.682	3.158.954	29.943.644
mar-14	818.512	1.279.427	2.097.939	32.041.579	818.512	1.279.427	2.097.939	32.041.582
abr-14	514.499	836.158	1.350.656	33.392.235	514.501	836.158	1.350.658	33.392.240
may-14	253.304	292.280	545.583	33.937.819	253.302	292.280	545.582	33.937.823
oct-15	164.332	252.453	416.785	34.354.604	261.734	338.669	600.403	34.538.225
nov-15	802.238	1.217.795	2.020.033	36.374.637	828.834	1.220.859	2.049.693	36.587.918
dic-15	843.692	947.462	1.791.154	38.165.791	1.011.025	1.214.429	2.225.454	38.813.373
ene-16	924.881	1.058.501	1.983.382	40.149.173	1.050.539	1.237.949	2.288.489	41.101.861
feb-16	1.693.998	2.283.258	3.977.256	44.126.428	1.542.710	2.116.188	3.658.898	44.760.759
mar-16	1.094.003	1.359.901	2.453.904	46.580.332	1.173.640	1.513.815	2.687.455	47.448.214
abr-16	755.618	1.072.663	1.828.281	48.408.613	813.354	1.087.498	1.900.852	49.349.066
may-16	190.845	271.866	462.712	48.871.325	253.880	362.641	616.521	49.965.587
oct-16	213.428	298.923	512.351	49.383.675	241.689	358.287	599.976	50.565.563
nov-16	1.015.205	1.393.314	2.408.519	51.792.194	1.066.892	1.439.631	2.506.522	53.072.085
dic-16	1.041.961	1.311.308	2.353.269	54.145.463	1.187.583	1.523.270	2.710.853	55.782.938
ene-17	1.478.474	1.984.427	3.462.901	57.608.364	1.573.117	2.121.111	3.694.228	59.477.166
feb-17	1.012.971	1.487.209	2.500.181	60.108.545	1.064.132	1.458.107	2.522.239	61.999.405
mar-17	822.277	1.215.642	2.037.920	62.146.464	841.466	1.210.913	2.052.379	64.051.784
abr-17	360.148	485.936	846.085	62.992.549	389.604	603.313	992.916	65.044.700
may-17	144.676	160.024	304.700	63.297.249	67.695	169.729	237.424	65.282.125
oct-17	108.223	140.608	248.831	63.546.080	126.080	244.746	370.826	65.652.951
nov-17	854.197	1.055.061	1.909.257	65.455.337	980.778	1.212.722	2.193.499	67.846.450
dic-17	1.258.751	1.620.849	2.879.600	68.334.937	1.325.738	1.722.291	3.048.029	70.894.479
ene-18	1.324.924	1.628.835	2.953.760	71.288.697	1.360.481	1.695.289	3.055.770	73.950.250
feb-18	1.442.119	1.925.932	3.368.051	74.656.748	1.486.966	1.909.736	3.396.702	77.346.952
mar-18	1.188.633	1.603.642	2.792.275	77.449.023	1.196.345	1.513.093	2.709.438	80.056.390
abr-18	611.245	737.949	1.349.194	78.798.217	595.692	742.138	1.337.830	81.394.220
may-18	218.015	225.268	443.283	79.241.500	197.584	260.502	458.086	81.852.306
TOTAL	33.850.963	45.390.537	79.241.500		34.923.673	46.928.634	81.852.306	
Total pronosticado oct-15-may18					20.637.560	27.276.924	47.914.484	
Total real oct-15-may18					19.494.998	25.725.187	45.220.186	
Ahorro (kWh)					1.142.561	1.551.737	2.694.298	
Ahorro (%)					5,5%	5,7%	5,6%	
Diferencias en las medias					5,9%	6,0%	6,0%	

La Figura 151, muestran el resumen del ahorro energético que se ha obtenido en cada Campus y en el total de los edificios de la UVA, durante las tres temporadas de calefacción siguientes a la puesta en marcha de la red de calor, siendo el ahorro conseguido del este del 5,6% lo que equivale a un ahorro de 2.694 MWh.

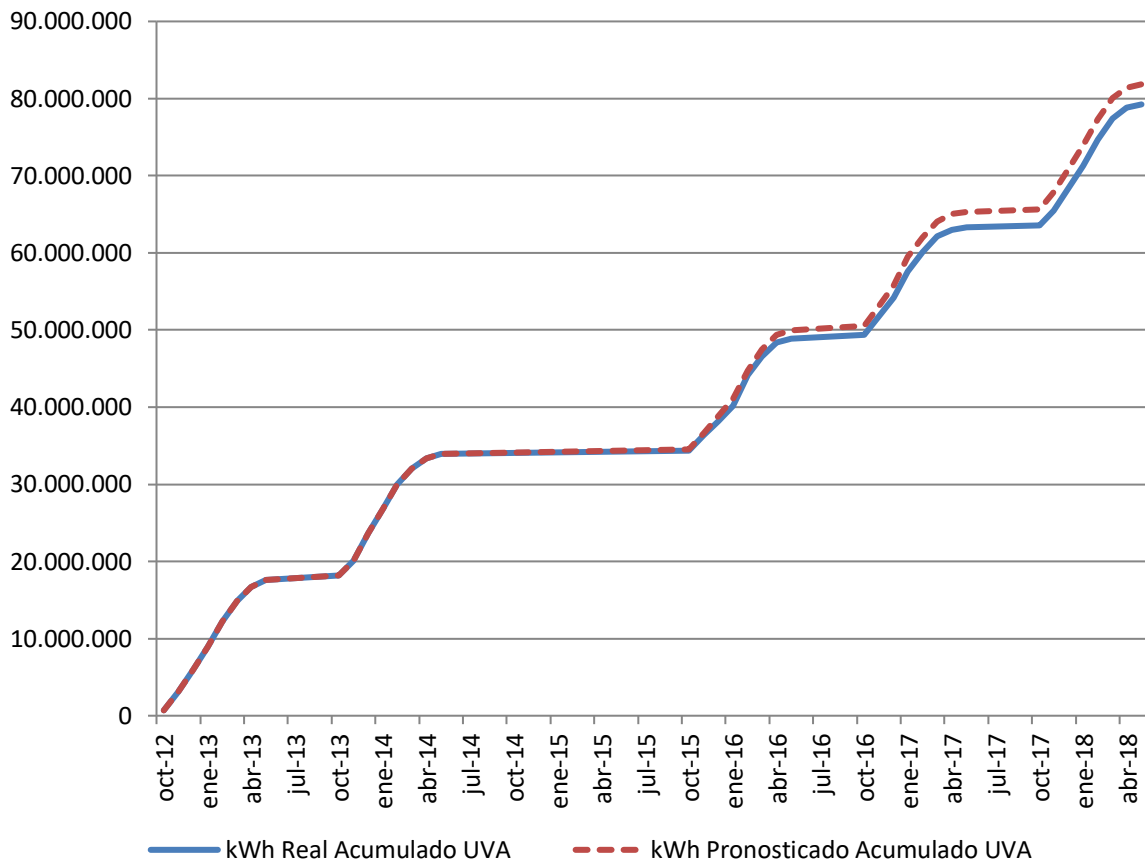


Figura 151. Consumo real acumulado y pronosticado (kWh). Campus Río Esgueva

En la Tabla 145 se muestran los precios que hubieran tenido que tener los kWh comprados a la red de calor, para obtener un ahorro económico del 0% y del 15 %, durante las tres temporadas siguientes a la ejecución de la red, con respecto a lo que hubiera pagado la Universidad por la compra de la energía al suministrador de gas natural o gasóleo de no haberse conectado a la red de calor.

Tabla 145. Precios máximos de compra de la energía a la red de calor

	€/kWh max comprado para 0% ahorro económico	€/kWh max comprado para 15% ahorro económico
D1	0,04000	0,03380
D2	0,04715	0,03961
D3	0,03740	0,03140
D4	0,03701	0,03130
D5	0,02681	0,02224
D6	0,03220	0,02719
D7	0,03220	0,02719
D8	0,02391	0,02015
D9	0,03225	0,02728
D10	0,03223	0,02728
D11	0,03228	0,02710
D12	0,03846	0,03256
E1	0,09280	0,08040
E2	0,04970	0,04280
E3	0,03210	0,02778
E4	0,04815	0,04088
E5	0,06140	0,05317
E6	0,03230	0,02790
E7	0,03208	0,02758
E8	0,03208	0,02778
E13	0,03166	0,02740
E14	0,04952	0,04270
E15	0,03176	0,02753
TOTAL UVA	0,02391	0,02015

Se han estimado que los precios que se hubieran pagado por los combustibles fósiles son los que figuran en la Tabla 146, luego el precio que tenía que haber pagado la UVA por la energía suministrada de la red de calor, tendría que haber sido muy semejante al precio de la astilla para haber podido obtener un ahorro económico en todos los edificios. Cabe recordar que en todos los edificios por haber mantenido y utilizado de forma puntual los suministros de gas natural y gasóleo, la UVA ha tenido que seguir pagando los costes fijos asociados al suministro de combustibles fósiles, lo que emperora la eficiencia económica obtenida con la incorporación de los edificios a la red.

Tabla 146. Precios estimados para los combustibles

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018	Promedio
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,056	0,050325
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336	0,033225
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239	0,02565

6.2. Conclusiones sobre la eficiencia energética

Como se ha expuesto en el apartado anterior el ahorro energético obtenido en el conjunto de los edificios de la UVA, ha sido del 5,6% lo que equivale a un ahorro de 2.694 MWh

Tal como se define en la Directiva 2012/27/CEE, relativa a la Eficiencia Energética (El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2012) [27], un sistema Urbano Eficiente de Calefacción y Refrigeración, sería todo aquél que utilice al menos un 50% de energía renovable. Así pues atendiendo a esta definición la red de calor a la que están conectados los 23 edificios de la UVA, se puede considerar un Sistema Urbano Eficiente, dado que utiliza más del 95% de la energía a partir de la biomasa, concretamente en las tres temporadas posteriores a la ejecución de la red, el porcentaje de energía proveniente de Biomasa y de combustibles fósiles se muestra en la Tabla 147.

Tabla 147. Porcentaje de energía proveniente de Biomasa y de combustibles fósiles. UVA

Octubre 2015- Mayo 2018	Tipo de combustible	kWh Combustible	kWh Biomasa	kWh TOTAL	% Combustible fósil	% Biomasa
D1	Gas Natural	160.372	3.572.900	3.733.272	4,3%	95,7%
D2	Gas Natural	12.010	120.336	132.346	9,1%	90,9%
D3	Gas Natural	60.015	669.653	729.668	8,2%	91,8%
D4	Gas Natural	84.794	2.516.730	2.601.524	3,3%	96,7%
D5	Gas Natural	36.161	294.499	330.660	10,9%	89,1%
D6	Gas Natural	142.519	3.510.780	3.653.299	3,9%	96,1%
D7	Gas Natural	110.628	3.088.380	3.199.008	3,5%	96,5%
D8	Gas Natural	48.858	1.244.026	1.292.884	3,8%	96,2%
D9	Gas Natural	20.711	705.131	725.842	2,9%	97,1%
D10	Gas Natural	16.627	652.485	669.112	2,5%	97,5%
D11	Gas Natural	117.868	1.630.930	1.748.798	6,7%	93,3%
D12	Gas Natural	18.762	729.680	748.442	2,5%	97,5%
E1	Gasoleo C	11.235	190.375	201.610	5,6%	94,4%
E2	Gasoleo C	87.576	1.134.580	1.222.156	7,2%	92,8%
E3	Gas Natural	88.693	2.611.150	2.699.843	3,3%	96,7%
E4	Gasoleo C	166.752	974.300	1.141.052	14,6%	85,4%
E5	Gas Natural	150.371	3.874.000	4.024.371	3,7%	96,3%
E6	Gas Natural	59.050	1.435.593	1.494.643	4,0%	96,0%
E7	Gas Natural	40.524	535.241	575.765	7,0%	93,0%
E8	Gas Natural	115.704	5.609.415	5.725.119	2,0%	98,0%
E13	Gas Natural	144.463	4.115.660	4.260.123	3,4%	96,6%
E14	Gasoleo C	53.153	850.170	903.323	5,9%	94,1%
E15	Gas Natural	88.622	3.402.200	3.490.822	2,5%	97,5%
TOTAL UVA		1.835.468	43.468.214	45.303.682	4,1%	95,9%

Es por la definición que considera la Directiva, que el factor clave en la eficiencia energética de los sistemas de climatización de distrito sea la incorporación de energías renovables, o energías residuales que de otro modo serían desechadas a nivel de climatización de edificios de forma individual. Según (Federación Española de Municipios y Provincias. FEMP, 2011) [126], una aproximación habitual para la medida de la eficiencia energética es el “Factor de recurso primario” (PRF, por sus siglas en inglés “Primary Resorce Factor”), que establece la relación entre la energía no renovable consumida por el edificio sobre la energía final suministrada en el mismo, el factor representaría el suministro energético excluyendo el componente renovable. La idea es poder comparar el suministro energético a través de un sistema de redes de calor frente a los sistemas convencionales.

En el caso en estudio el PRF de los edificios antes de ser conectados a la red era del 100%, frente al 4,1% que se ha obtenido tras la conexión de los edificios a la red de calor.

6.3. Conclusiones sobre la mejora medioambiental

La Tabla 148 y Figura 152, muestran el resumen del ahorro de emisiones de CO₂, que se ha obtenido en cada uno de los Campus y en el conjunto de los edificios de la UVA, durante las tres temporadas de calefacción siguientes a la puesta en marcha de la red de calor, siendo este del 87,7% lo que equivale a un ahorro de 10.890 toneladas de CO₂. Unas 3.630 toneladas de CO₂ /año.

Tabla 148. Ahorro de emisiones CO₂ de la UVA (kg CO₂)

Ahorro CO ₂ (kg CO ₂)	DELIBES	RÍO ESGUEVA	TOTAL UVA	TOTAL ACUMULADO
oct-15	62.013	83.474	145.487	145.487
nov-15	189.612	301.868	491.480	636.967
dic-15	234.530	276.985	511.515	1.148.482
ene-16	242.539	294.708	537.247	1.685.729
feb-16	239.192	367.787	606.979	2.292.707
mar-16	249.663	330.200	579.863	2.872.570
abr-16	184.180	255.217	439.397	3.311.967
may-16	58.938	80.795	139.733	3.451.700
oct-16	38.811	52.076	90.887	3.542.588
nov-16	233.408	343.678	577.086	4.119.673
dic-16	268.565	352.903	621.468	4.741.141
ene-17	356.369	502.606	858.975	5.600.116
feb-17	241.052	358.491	599.543	6.199.658
mar-17	191.176	299.294	490.471	6.690.129
abr-17	88.869	134.256	223.125	6.913.254
may-17	13.784	27.136	40.920	6.954.174
oct-17	23.985	46.950	70.935	7.025.109
nov-17	225.101	278.935	504.037	7.529.146
dic-17	302.154	419.013	721.167	8.250.313
ene-18	310.432	419.549	729.981	8.980.293
feb-18	338.795	469.983	808.778	9.789.071
mar-18	270.412	390.572	660.984	10.450.056
abr-18	135.149	191.654	326.803	10.776.859
may-18	44.559	68.102	112.661	10.889.520
Ahorro kg CO₂	4.543.289	6.346.232	10.889.520	
kg CO ₂ antes	5.200.665	7.221.040	12.421.705	
% Ahorro	87,4%	87,9%	87,7%	

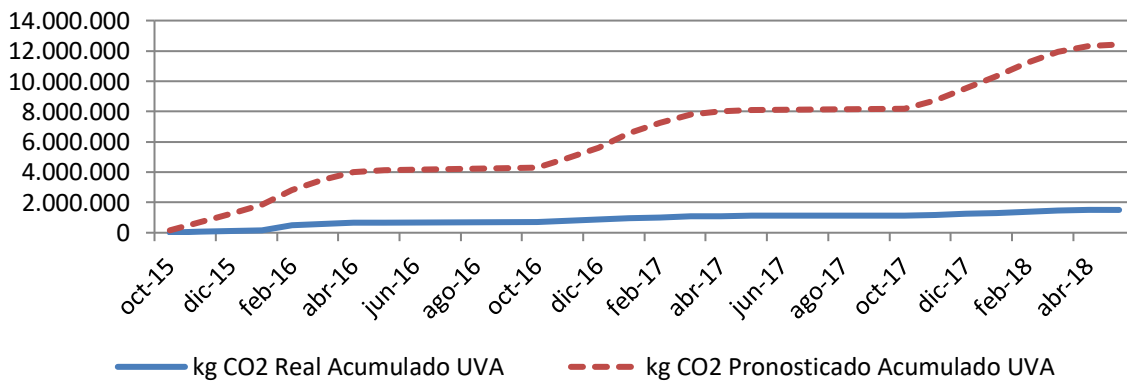


Figura 152. Emisiones reales acumuladas y pronosticadas (kg CO₂). UVA

6.4. Futuro de la red. Nuevas líneas de investigación

Sólo 4 de los 23 edificios estudiados (17,4%), utilizaban calderas de gasóleo como sistema inicial y sólo en uno de los cuatro (E1) se han obtenido diferencias estadísticamente significativas entre los consumos de antes y después de la red de calor. Aunque en este análisis no se haya podido probar la existencia de un importante ahorro energético en todos los edificios, dado que sólo en 8 de los mismos (34,7%) se han obtenidos ahorros significativos, en 3 de los edificios (13,0%), se obtuvieron aumentos significativos del consumo y en los 12 restantes (52,2%), las diferencias encontradas no resultaron ser significativas, lo que es innegable es el ahorro de emisiones conseguido al sustituir más del 95% de la energía suministrada provenientes de combustibles fósiles por energía proveniente de la astilla.

El estudio ha analizado la viabilidad de las redes de calor en función de la predicción de la demanda esperada de calor, utilizando únicamente como variables independientes los datos climatológicos del momento y con un riesgo de error igual o inferior al 5%, esto permitiría realizar un estudio de los consumos de acuerdo a la evolución esperada de los datos climáticos medios de la zona como hizo (Andric, y otros, 2017) [127], que tuvo en cuenta, además, el aumento de las temperaturas futuras por el efecto del cambio climático, obteniendo errores en las predicciones del 20 al 60 %.

Los resultados sobre las dos temporadas de calefacción tenidas en cuenta para la obtención de los modelos de las líneas base (16 meses) indican que la regresión utiliza de forma muy semejante los grados día (47,8%) y la temperatura (52,2%) para establecer su modelo, sin tener en consideración el resto de las variables como: las humedades relativas, la radiación, las precipitaciones o las velocidades del viento. Conforme a (Granderson & Price, 2014) [128] un periodo de referencia mayor a 12 meses, no garantizaría un error menor, y la utilización de datos mensuales, predice con un error menor el ahorro de energía que el uso de datos diarios o semanales.

Los modelos de línea base de consumos obtenidos permiten evaluar cualquier implantación que intente alcanzar una mejora en la eficiencia energética de la red de calor, de forma objetiva y contrastada. Esta herramienta será muy importante durante toda la vida útil de la red de la Universidad de Valladolid, aproximadamente la vida útil de una red de calor convencional es de 30 años (Kim & Weidlich, 2017) [129], las mejoras que se realicen permitirán convertir a la actual red de calor de la UVA de tercera generación en red inteligente de calor de cuarta generación, en la que, como en cualquier sistema de calefacción, el control (Vanhoudt, Claessens, Desmedt, & Johansson, 2017) [130], monitorización y regulación de la demanda será fundamental para aumentar la eficiencia energética (Abghari, García-Martín, Johansson, Lavesson, & Grahn, 2017) [131].

En la actualidad, también se investiga sobre la conveniencia de utilizar redes de calor, en función del sistema inicial que se tuviera para satisfacer la demanda, información que, como recoge el trabajo de (Ulseth, Byskov, Georges, Justo, & Utne, 2017) [132], es importante conocer para poder planificar una red de calor y realizar sin excesivos errores el estudio de su viabilidad económica. En Noruega se cuestionó la utilización de redes de calor para calefactar casas que poseían bombas de calor que eran también utilizadas para satisfacer la demanda de ACS, incluso otros estudios, han analizado la viabilidad del uso de electricidad como fuente para un sistema de calefacción de distrito municipal con bajas emisiones locales, aunque evidentemente no resulte viable económicamente con los actuales precios de la electricidad (Khabdullin, Khabdullina, Khabdullina, Lauka, & Blumberga, 2017) [133].

El siguiente paso que se está dando en la red de la UVA, es el uso de energía solar térmica para ACS, como se está realizando en otras muchas redes de tercera generación (Winterscheid, Dalenbäck, & Holler, 2017) [134] y (Winterscheid, C, Holler, & Dalenbäck, 2017) [135]. El uso de energías renovables permitirá aumentar la eficiencia energética de la red, siendo, además, el paso lógico para su conversión paulatina a una red de cuarta generación, como expone (Pavicevic, Novosel, Puksec, & Duic, 2017) [136] en su trabajo sobre un district heating en Zagreb.

Por la disposición de los edificios de la Universidad y de la administración regional próximos a la red, no conectados todavía, que disponen de sistemas de calefacción de distintos saltos térmicos, no sería posible que al igual que la propuesta realizada por (Mertz, Serra, Reneaume, & J.M, 2017) [137] se conectaran nuevos edificios en cascada, en lugar de en paralelo. Este tipo de conexión hubiera permitido que edificios que requieran menores temperaturas (edificios con sistema todo aire) hubieran podido conectarse a la salida de los edificios que necesitan mayores temperaturas (edificios sanitarios como hospitales o clínicas).

ANEXO I. PROTOCOLOS DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN

Cuando se desea evaluar el ahorro conseguido al aplicar una mejora energética, hay que estudiar cómo será la medida y la verificación de ese ahorro.

El ahorro no se puede medir de forma directa, al ser una ausencia del consumo de energía, por lo que se tiene que determinar por comparación entre el consumo antes y después de la aplicación de la medida, una vez se hayan realizado los ajustes necesarios en función de la variación de las condiciones iniciales.

Existen muchos protocolos que se aplican internacionalmente para medir y verificar los ahorros energéticos obtenidos con la implantación de una medida de ahorro.

Principalmente los protocolos de medida son demandados por empresas de servicios energéticos, empresas comercializadoras y distribuidoras de energía, la industria en general, entidades financieras y la Administración pública. Todos ellos pueden utilizar la Medida y Verificación para cuantificar, valorar y mejorar la eficiencia de sus instalaciones e inversiones. (Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética (ENERGYLAB), 2014) [138]

La utilización de estos protocolos entre las empresas o entidades que consumen energía y en las que suministran energía, como las Empresas de Servicios Energéticos (ESEs) es especialmente ventajoso, puesto que sirve como garantía tanto para el cliente como para el proveedor, evita posibles conflictos derivados de la medida o justificación de los ahorros y los contratos basados en ahorros demostrados de energía pueden basar sus estimaciones en los métodos aceptados internacionalmente en esos protocolos, que además deberán ser aceptados por todas las partes. Los protocolos utilizan procesos de Medida y Verificación (M&V) fiables, objetivos y técnicamente rigurosos.

Entre los protocolos aceptados internacionalmente se encuentran: (Asociación de Empresas de Eficiencia Energética. A3e, 2015) [139]

IPMVP (Protocolo Internacional de Verificación y Medida).

Desarrollado por EVO (Efficiency Valuation Organization), organización de Estados Unidos, sin ánimo de lucro.

El IPMVP es el estándar líder internacional en protocolos de medida y verificación.

Aporta soluciones para la verificación de los resultados de eficiencia energética, eficiencia en el uso del agua y proyectos de energías renovables.

Según cita este protocolo, en su Capítulo 2:

La Medida y Verificación (M&V) es un proceso que consiste en utilizar la medida para establecer de forma fiable el ahorro real generado en una instalación dentro de un programa de gestión de energía. (Efficiency Valuation Organization (EVO), 2010) [140]

FEMP (Federal Energy Management Program)

Ha sido desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). Aporta métodos y guías para la medida y verificación en contratos federales de EEUU de ahorro de energía, supone una aplicación específica del IPMVP para aplicaciones concretas como: eficiencia y control en la iluminación, motores de velocidad constante y variable, sistemas de enfriamiento, agua, bombas de calor geotérmicas y energías renovables

ASHRAE Guideline 14-2014

Desarrollado por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), tiene una estrecha relación con el protocolo IPMVP, dado que son documentos complementarios, el IPMVP es un marco de definiciones y aproximaciones, mientras que la Guía 14 contiene más detalles técnicos para su aplicación. (ASHRAE, 2014) [141]

Otra diferencia es que mientras el IPMVP incluye cuatro opciones de verificación, de las cuales la Opción A, permite realizar estimaciones sin la necesidad de mediciones, la Guía 14, requiere mediciones para todas las opciones que propone.

Australian Best Practice Guide

Se trata de una guía elaborada por The Australasian Energy Performance Contracting Association for the Innovation Access Program of AusIndustry in Australian Department of Industry Tourism and Resources. Se basa principalmente en la edición 2002 del IPMVP, en la Guía 14 de ASHRAE y en la Guía FEMP. Fue generada para la aplicación en los contratos de rendimientos o contratos para la mejora de la eficiencia energética.

California Energy Efficiency Evaluations Protocol

Creado por la CPUC (California Public Utilities Commission), que regula las compañías privadas de electricidad, telecomunicaciones, agua y transporte público del Estado de California. También contiene aspectos del IPMVP, haciendo una reseña especial sobre la Opción D. de simulación calibrada, exigiendo que los programas informáticos que se empleen cumplan con el Standard 140 de la ASHRAE, empleado para hacer pruebas y evaluar los programas de simulación energética.

El IPMVP del 2010 está compuesto de tres documentos:

- Volumen 1. Conceptos y Opciones para determinar el Ahorro de Energía y Agua
- Volumen 2. Conceptos y prácticas para la mejora de la calidad del Aire interior
- Volumen 3. Conceptos y prácticas para determinar los ahorros de energía:
 - Parte I. En edificios de nueva construcción
 - Parte II. En Aplicaciones de Energías Renovables.

En el 2014, se actualizó este protocolo, reorganizando los documentos, definiendo la terminología utilizada y los principios rectores para aplicar las M&V. (EVO, 2014) [142] (Efficiency Valuation Organization (EVO), 2014) [143]

El protocolo IPMVP, es una guía respecto a las prácticas más comunes relacionadas con la medida, el cálculo y la elaboración de los informes demostrativos de ahorros. No es una norma, ni está sujeta a ninguna obligación legal de su cumplimiento.

El protocolo ofrece cuatro opciones para determinar el ahorro:

- Opción A. Verificación aislada de la Medida de Mejora de la Eficiencia Energética (MMEE), con medición del parámetro clave y estimación de los demás.
- Opción B. Verificación aislada de la MMEE con medición de todos los parámetros. La dificultad y coste de su implementación crece con la complejidad de la medida realizada.
- Opción C. Verificación de toda la instalación.
- Opción D. Simulación calibrada con un programa de simulación para predecir el consumo de la instalación en el periodo de referencia, demostrativo o ambos. El modelo de simulación debe ser calibrado para que pueda predecir un patrón de consumo que coincida de forma fiable con los datos registrados realmente por el equipo de medida.

La opción C implica el uso del equipo de medida de la empresa de suministro como los contadores de facturación o de equipos y contadores propios que midan toda la instalación o el empleo de facturas del suministro energético. Dado que la medida es relativa a toda la instalación, el ahorro que refleja la opción C incluye todos los efectos positivos o negativos de cualquier modificación que ocurra dentro de la instalación y que no sean atribuibles a las MMEE implementadas.

Esta opción está pensada para proyectos donde el ahorro estimado es superior al 10% de la energía de referencia, cuando el periodo demostrativo de ahorro es inferior a dos años, en caso de no ser así, el protocolo recomienda la opción D.

Las fases que establece el protocolo IPMVP para un Plan de Medida y Verificación (M&V) son:

1. Diseño del Plan de M&V
2. Establecimiento del Periodo de Referencia, deberá abarcar un ciclo operativo completo
 - a. Medición del consumo
 - b. Obtención del patrón de consumo y definición de las variables que le influyen
3. Implementación de la MMEE
4. Establecimiento del Periodo de demostración del ahorro, deberá abarcar al menos un ciclo operativo normal de los equipos o de la instalación, para conseguir una completa caracterización de la efectividad del ahorro en todas las condiciones normales de operación.
 - a. Medición del consumo
 - b. Obtención de ahorros ajustados a partir del patrón de consumo y del consumo medido en este periodo
 - c. Elaboración de informes

Los ajustes aseguran que las condiciones del periodo de referencia son las mismas que las del periodo demostrativo de ahorro y pueden clasificarse en dos tipos:

- Ajustes Rutinarios que son los ocasionados por variables que influyen en la energía y que experimentan variaciones durante el periodo demostrativo de ahorro (climatología, nivel de producción o carga de trabajo de las máquinas o instalaciones, ...)
- Ajustes no Rutinarios, debidos a parámetros que influyen en la energía y que no se prevé que cambien con el tiempo: tamaño de la instalación, diseño y funcionamiento de los equipos existentes, número de turnos de trabajo, tipo de ocupantes, consignas interiores, horarios de encendido / apagado.

ANEXO II. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

All.1.Nomenclatura.

	Estadístico Valor obtenido a partir de datos de la muestra
α	Nivel de significación. Es un umbral que permite determinar si el resultado es significativo. Indica la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera. $\alpha = P(\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ es cierta})$ Es el error de tipo I o “falso positivo” Un nivel de 0,05 indica un riesgo del 5% de estar equivocados
1-α	Nivel de confianza Indica la probabilidad de que el estadístico se encuentre en el intervalo de confianza Un nivel de 0,95 indica que en el 95 % de las veces el estadístico se encontrará en el intervalo de confianza definido
p-valor	Valor de p Probabilidad que presenta el estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula. Oscila entre 0 y 1 Si esta probabilidad es menor o igual al nivel de significancia, la hipótesis nula es rechazada $p\text{-valor} \leq \alpha \rightarrow \text{Rechazo } H_0$ $p\text{-valor} > \alpha \rightarrow \text{No Rechazo } H_0$ (No implica certeza de H_0 , indica que hay más probabilidad de que H_0 sea cierta que incierta)

β	<p>Indica la probabilidad de aceptar la hipótesis nula cuando ésta es falsa. $\beta = P(\text{Aceptar } H_0 / H_0 \text{ es falsa})$ Es el error de tipo II</p>
$1-\beta$	<p>Potencia de la prueba Indica la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es falsa $1-\beta = P(\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ es falsa})$</p>
μ	<p>Media de una población de N elementos donde X_i es cada elemento</p> $\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \bar{x}_i$
σ	<p>Desviación típica o estándar Indica la dispersión de los valores alrededor de la media Representa el error estándar de la estimación Es la raíz cuadrada de la diferencia entre el promedio de los cuadrados de los valores y el cuadrado del valor promedio.</p> $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$
σ^2	<p>Varianza Establece la variabilidad de la variable, mide la dispersión de los datos. A mayor dispersión mayor variabilidad y menor homogeneidad. Es la media del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media</p> $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2$
R	<p>Coficiente de correlación o coeficiente de correlación de Pearson Indicará el grado de dependencia entre las variables independientes y la variable dependiente El valor del coeficiente de correlación puede variar entre 1 y -1</p> <ul style="list-style-type: none"> • R = -1 la corrección es perfecta e inversa • R = 0 no existe ninguna correlación entre las variables • R = 1 la correlación es perfecta y directa

R² **Coefficiente de determinación**
 Indica qué proporción de la variación de la variable dependiente (Y) puede ser explicada por la variación de la(s) variable(s) independiente(s) (X).
 Puede tomar valores entre 0 y 1
 R² = 1, indica ajuste lineal perfecto

R²_{corregido} **Coefficiente de determinación lineal corregido**
 Tiene en cuenta el número de variables independientes (k) incluidas en el modelo y el tamaño de la muestra (n), reduce el coeficiente para muestras muy pequeñas con muchas variables independientes

$$R_{\text{corregido}}^2 = 1 - \frac{(n - 1)(1 - R^2)}{n - k - 1}$$

e **Error o residuo del modelo**
 Diferencia entre el valor real (Y_i) y el valor pronosticado o predicho por el modelo (Ŷ_i)

$$e_i = \text{residuos del modelo} = Y_i - \hat{Y}_i$$

Se **Error típico de la estimación o de la recta de regresión**
 Indica la magnitud de los errores, describe la variación de la variable respuesta Y respecto a la recta de regresión.
 Es la desviación típica de los residuos, es decir es la raíz cuadrada de la **media cuadrática residual**.

Representa una medida de la parte de variabilidad de la variable dependiente que no se explica por el modelo de regresión.

n = número de observaciones de la muestra

$$Se = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - 2}}$$

Para regresión lineal múltiple

k = número de variables independientes del modelo

$$Se = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k - 1}}$$

All.2.Intervalo de confianza.

Para poder cuantificar una característica, en este caso la eficiencia energética de un sistema, es necesario la obtención, estudio, tratamiento y análisis de una realidad, es decir es necesario realizar una investigación sobre esa realidad.

Si la realidad investigada además de poder ser descrita (investigación descriptiva), puede ser medida, se dispondrá de una información no sólo nominal sino también numérica, que podrá ser tratada con operaciones lógicas y de cálculo numérico, de manera que se puedan establecer correlaciones entre los datos disponibles (investigación correlacional), estas correlaciones podrán ser tratadas y procesadas de manera que puedan dar respuesta a preguntas sobre la causa y el efecto de las variables analizadas, llegando con ello a la investigación experimental.

Cuando se dispone de una serie de datos y se desea llegar a conclusiones fiables, la única forma es recurrir a la estadística, la estadística nos permite generalizar los hallazgos encontrados en una muestra reducida de la realidad a la globalidad de la misma.

La estimación de un valor estadístico a partir de los datos de una muestra, no se hace como valor absoluto, pues si se volviera a repetir el cálculo del valor para otra muestra de la misma población, se obtendrían valores diferentes, por lo tanto la estimación de los valores se hace mediante intervalos de confianza, intervalos que estarán formados por un grupo de valores que en muchas ocasiones sigue la expresión:

Estimación \pm margen de error.

Por lo tanto para estimar un valor estadístico a partir de una muestra se debe aceptar un riesgo a cometer un error si se considera como buena la conclusión final obtenida. Este riesgo está relacionado con el intervalo de confianza que como se ha indicado, representa entre qué valores se estima, que estará el resultado con una determinada probabilidad de acierto, esa probabilidad de éxito es el llamado “nivel de confianza”; ambos conceptos están directamente relacionados, de forma que un intervalo de confianza más amplio tendrá una mayor probabilidad de acierto, pero al aumentar esa amplitud y probabilidad se perderá precisión.

El error aleatorio cometido se denomina “nivel de significación”, se representa por α e indica las posibilidades de fallar en la estimación. El nivel de confianza en estadística se representa con $1-\alpha$ y como se ha señalado indica la probabilidad de que el estadístico se encuentre en el intervalo de confianza. Los niveles de confianza más utilizados son el 90%, 95% y 99%, lo que arroja unas posibilidades de fallo del 10%, 5% y 1%.

El nivel más preciso será el del 90 %, por ser el que tiene el intervalo de confianza más estrecho, pero también es el que tendrá más posibilidades de fallo (10%), por el contrario el nivel cuyo intervalo de confianza es más amplio será el del 99 %, pero no se podrá afinar tanto en los resultados. Esto se puede apreciar en la Figura 153

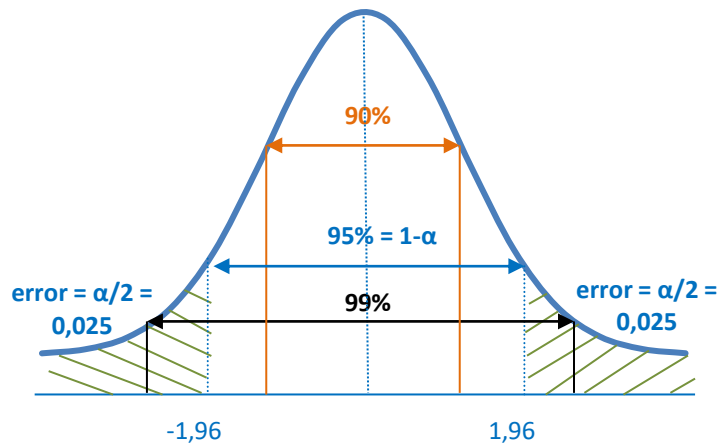


Figura 153. Intervalos de confianza en una distribución normal.

Para definir un intervalo de confianza es necesario saber la distribución que sigue la variable que estamos estudiando, lo habitual es partir de una distribución normal o gaussiana, puesto que por su forma se puede determinar exactamente el porcentaje de valores que está dentro de cualquier intervalo específico

El intervalo de confianza, que tiene asociado un nivel de confianza de $(1-\alpha)$, para la media μ de la población se puede obtener a partir de la Ecuación 14.

$$\bar{x} \pm Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Siendo:

\bar{x} : Media de los valores

$Z_{\alpha/2}$: Valor de la curva normal obtenido para $\alpha/2$

σ : Desviación estándar

n : Número de valores de la muestra

El valor $Z_{0,025} = 1,96$, luego el intervalo de confianza para la media de una población con un nivel de confianza del 95% es $[\bar{x} - 1,96 \sigma, \bar{x} + 1,96 \sigma]$ y menos del 5% de las observaciones estarán fuera de ese rango. (Poquet, Sastre, & Crespo, 2014) [144].

Si se toman muestras aleatorias del mismo tamaño, lo único que varía en este intervalo es la media de los valores, es decir el centro de los intervalos obtenidos, pero el margen de error sería el mismo para todas las muestras.

Tomando una única muestra, para un nivel de confianza del 95 %, se sabe que existe una probabilidad del 95 % de que la media de la población se encuentre en el intervalo seleccionado y un 5% de las veces se obtendrán intervalos erróneos.

En una distribución Normal, se sabe que:

- el 68,26% de las observaciones está dentro del intervalo que tiene su centro en la media y su amplitud en una desviación de la media $[\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma]$
- el 95,44 % de las observaciones está dentro del intervalo que tiene su centro en la media y su amplitud en dos desviaciones estándar de la media $[\bar{x} - 2\sigma, \bar{x} + 2\sigma]$
- el 99,74% de las observaciones está dentro de tres desviaciones estándar de la media $[\bar{x} - 3\sigma, \bar{x} + 3\sigma]$

Si se fija el nivel de confianza, al aumentar el tamaño de la muestra, se reduce el margen de error. Si fijamos el tamaño de la muestra, al incrementar el nivel de confianza se aumenta el margen de error.

All.3.Contraste de hipótesis y zonas de rechazo.

Cuando lo que se desea es comprobar que una característica observada en una muestra se puede extrapolar al resto de la realidad, se recurre al contraste de hipótesis, de manera que se establece una hipótesis estadística o afirmación que puede ser cierta o no y con la información extraída de la muestra se contrasta para aceptarla o rechazarla.

La hipótesis que se formula con la intención de rechazarla se llama hipótesis nula (H_0), se considera como la hipótesis neutra o que no supone cambios y el rechazarla implica la aceptación de la hipótesis alternativa (H_1) que es la afirmación contraria. La hipótesis nula nunca se considera probada mediante muestreo porque siempre cabe la posibilidad de que exista una pequeña desviación en la muestra tomada que no pueda ser detectada: pero puede ser rechazada por los datos analizados cuando existan diferencias suficientemente grandes. Por eso un resultado con base en un rechazo de la hipótesis nula es más significativa que una que termine en una decisión de no rechazo, el no rechazo no implica que sea aceptada por ser cierta, sino que existe más probabilidad de que la hipótesis sea cierta que incierta. (Trejo) [145].

Tanto si se acepta como si se rechazan las hipótesis estadísticas formuladas se comete un error. Se habla de dos tipos de errores:

- Error cometido por rechazar la hipótesis nula siendo cierta (error tipo I) (α)
- Error cometido por aceptar la hipótesis nula siendo falsa (error tipo II) (β)

El valor p o “ p -valor” se define como la probabilidad de observar unos datos que van en contra de H_0 . Cuanto menor es el valor p , más evidencias hay en contra de H_0 y más evidencias hay a favor de H_1 .

Al rechazar H_0 se comete un error que viene dado por el nivel de significación α y que indica la probabilidad que existe de rechazar H_0 siendo cierta.

Cuando se acepta H_0 también se comete un error, que viene dado por β , e indica la probabilidad que existe de aceptar H_0 siendo falsa.

Lo ideal sería que α y β , permanecieran en valores muy bajos, pero estos valores están relacionados cuando α es muy bajo, β es muy elevado, aunque no se puede probar que $\alpha + \beta = 1$.

Como el contraste de hipótesis se plantea para rechazar la hipótesis nula, lo habitual es fijar un nivel de aceptación para el error tipo I, es decir fijar un nivel de significación “ α ” y limitar el error tipo II (β) incrementando el número de observaciones de la muestra. Por lo tanto el aceptar la hipótesis nula debe interpretarse que con la información disponible en la muestra no se puede detectar que la hipótesis sea falsa. (Cruz Ramírez) [146].

Para un nivel de significación de $\alpha = 0,05$, se rechazará H_0 cuando el p -valor se encuentre por debajo de ese umbral es decir cuando $p\text{-valor} \leq 0,05$, lo que implica que aceptamos una probabilidad “ p ” de cometer el error de rechazar la hipótesis nula siendo cierta del 5%. Es decir si se rechaza H_0 , la prueba resultará ser significativa, con un riesgo del 5% de estar equivocados.

Cuando la prueba divide a la región de rechazo en dos colas se llama prueba bilateral (se produce cuando la hipótesis nula afirma un valor y la alternativa asigna cualquier valor distinto al de la hipótesis nula. La hipótesis nula será rechazada cuando el estadístico de contraste sea menor de $-1,96$ o mayor de $1,96$, para un nivel de confianza del 95% y sólo el 5% de todas las muestras podrían producir un valor del estadístico que caiga en las zonas de rechazo, como se aprecia en la Figura 154.

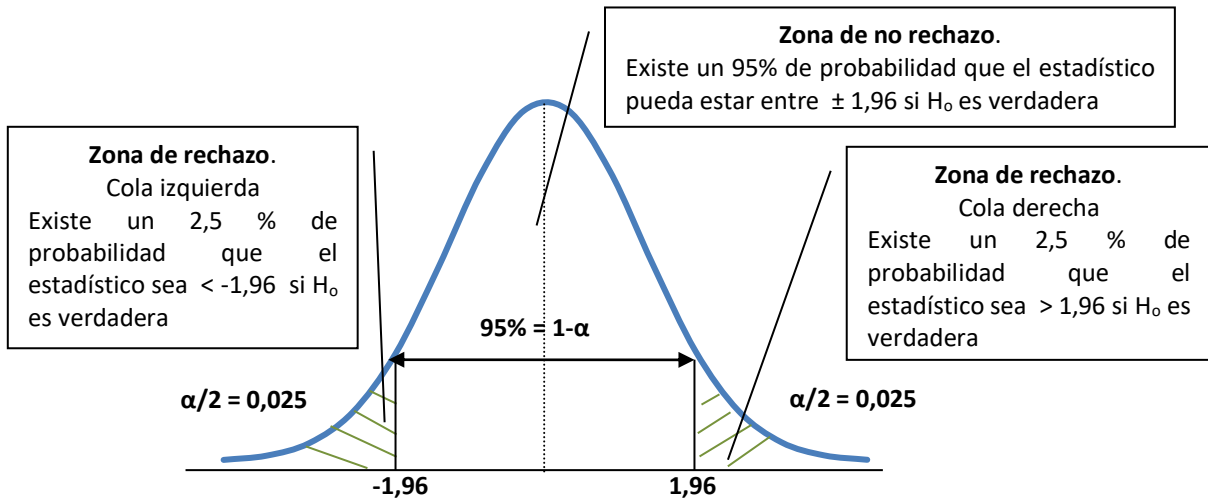


Figura 154. Zonas de rechazo en pruebas bilaterales

En pruebas unilaterales, la hipótesis nula afirma que es igual o menor a un valor, y la alternativa afirma que el valor es superior (cola derecha, zona de rechazo a la derecha) o la hipótesis nula afirma que es igual o mayor a un valor y la alternativa que el valor es inferior (cola izquierda, zona de rechazo a la izquierda)

All.4.Regresión.

En la investigación experimental, se tiene una variable dependiente, que es la variable que se mide en el experimento, una o varias variables independientes que son las que influyen en lo que se ha medido y una o varias variables extrañas o espúreas que son las que no tienen influencia en lo medido y hay que eliminar del modelo de la investigación.

Cuando las variables numéricas se distribuyen según una Normal y se desea saber por una parte, cuáles son las variables independientes que influyen en la variable dependiente y con qué peso lo hacen y por otra parte cuales son las variables espúreas que no influyen en la variable dependiente, se recurre a la regresión estadística.

Con el análisis de regresión se identifica y se entiende cómo cambia el valor de la variable dependiente al cambiar las independientes, estimando cuál es el valor promedio que tomaría la variable dependiente cuando se fijan las independientes. Esta relación se establece en la función o ecuación de regresión que representa la variable respuesta, predicha, regresora o dependiente (Y) en función de la(s) variable(s) dependiente(s), predictor(a) o explicativa(s) (X).

Cuando la dependencia es de tipo lineal, la regresión sólo relaciona una variable independiente con la dependiente, se habla entonces de regresión lineal simple (Ecuación 15), en caso de existir más variables independientes se hablaría de regresión lineal múltiple. (Ecuación 16)

Cuando la regresión se analiza a partir de datos numéricos, se habla de regresión paramétrica y a la correlación que se obtiene entre las variables se le puede asignar un peso para intentar explicar la relación causa – efecto; pero esta causalidad deberá ser explicada mediante el conocimiento de la naturaleza del sistema modelado. Si el análisis de regresión se realiza con variables no numéricas o nominales, se habla de regresión no paramétrica y la correlación que se pueda establecer entre ellas tampoco implicará causalidad. (Scott Armstrong, 2012) [147]

La forma de regresión que se emplea en esta investigación es la basada en el método de mínimos cuadrados, que busca minimizar la suma de cuadrados de las diferencias en la variable dependiente (Y_i) y los valores estimados o predichos para la variable dependiente a partir de la ecuación elegida (\hat{Y}_i), es decir se intenta minimizar la suma de los cuadrados de los residuos o errores = $\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$. (Universidad de Cádiz (UCA)) [148]

Para el caso las regresiones lineales simples de este estudio, las expresiones empleadas son las dadas en las siguientes ecuaciones 15 y 16 que son equivalentes

$$\hat{Y} = \beta X + \beta_0 \quad \text{(Ecuación 15)}$$

$$Y_i = \beta X_i + \beta_0 + e_i \quad \text{(Ecuación 16)}$$

Donde:

\hat{Y} = Variable dependiente pronosticada o consumo de los edificios en kWh

Y_i = Valores reales de la variable dependiente

β = Pendiente de la variable independiente

X = Variable independiente

β_0 = Valor numérico fijo

e_i = residuos del modelo = $Y_i - \hat{Y}_i$

Cuando se disponen de “n” datos de la variable independiente (X_i) y “n” datos de la variable dependiente (Y_i), la expresión que logra hacer mínima la suma de los cuadrados de los errores viene dada en la Ecuación 17.

$$Y = \frac{n (\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n (\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} X \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$+ \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i) \frac{n (\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n (\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}}{n}$$

Para el caso las regresiones lineales múltiples de este estudio, se utilizará la expresión de la Ecuación 18:

$$\hat{Y} = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_0 \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

- \hat{Y} = Variable dependiente pronosticada o consumo de los edificios en kWh
- β_i = Cada una de las pendientes de las variables independientes
- X_i = Variables independientes
- β_0 = Valor numérico fijo.

En ambas expresiones, se está aceptando que todos los factores o causas que influyen en la variable independiente Y, se clasifican en dos tipos: los explicados por la(s) variable(s) dependiente(s) (X) y los factores no controlados o aleatorios que son los llamados perturbaciones, errores aleatorios o residuos, que provocan que la dependencia entre las variables dependiente e independientes no sea perfecta, sino que tenga una cierta incertidumbre. (Universidad de Jaén) [149].

Una vez obtenida la ecuación de regresión, se puede comprobar la bondad de la misma, analizando el **coeficiente de de correlación o coeficiente de correlación de Pearson (R)**, que indicará el grado de dependencia entre las variables independientes y la variable dependiente, viene dado por la Ecuación 19.

$$R = \frac{n (\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{(n (\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2)(n (\sum_{i=1}^n Y_i^2) - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2)}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

El valor del coeficiente de correlación puede variar entre 1 y -1

- Si $R = -1$ la corrección es perfecta e inversa (al aumentar la variable independiente, la variable dependiente disminuye)
- Si $R = 0$ no existe ninguna correlación entre las variables, hay ausencia de linealidad ($\beta = 0$)
- Si $R = 1$ la correlación es perfecta y directa (al aumentar la variable independiente lo hace la dependiente)

Otro de los coeficientes que ponderan la bondad de un ajuste es el **coeficiente de determinación** R^2 , que indica qué proporción de la variación de la variable dependiente (Y) puede ser explicada por la variación de la(s) variable(s) independiente(s) (X). Viene definido por la Ecuación 20 y en los modelos de regresión lineal coincide con el cuadrado del coeficiente de correlación lineal ($R^2 = r^2$)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

- \bar{Y}_i = Valor medio de la variable dependiente
- \hat{Y}_i = Cada uno de los valores pronosticados de la variable dependiente
- Y_i = Cada uno de los valores de la variable dependiente
- n = número de datos.
- $\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ = Suma de cuadrados explicada por el modelo.
Si las estimaciones están muy alejadas de la media de los valores observados, es la parte de la variación total de Y que consigue explicar el modelo de regresión utilizado
- $\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$ = Suma de cuadrados total.
Es una medida de la variación total de los datos de la variable respuesta Y.
- $\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ = Suma de cuadrados no explicada por el modelo

El coeficiente de determinación puede tomar valores entre 0 y 1, cuanto más se aproxime a la unidad mejor será el ajuste, (coeficiente de determinación = 1, indica ajuste lineal perfecto) y mayor fiabilidad se tendrá en los pronósticos realizados con el modelo.

Si se desea comparar la bondad de varias regresiones con igual tamaño de muestra, pero diferentes números de variables dependientes, se puede analizar el **coeficiente de determinación lineal corregido** (R^2 corregido), que tiene en cuenta el número de variables independientes incluidas en el modelo y el tamaño de la muestra, reduciendo el coeficiente para muestras muy pequeñas con muchas variables independientes. Su expresión viene dada en la Ecuación 21

$$R^2_{\text{corregido}} = 1 - \frac{(n - 1)(1 - R^2)}{n - k - 1} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra
- k = número de regresores o variables independientes.

Otro de los valores a estudiar en una regresión es el **error típico de la estimación** (Se), que es la desviación típica de los residuos, por lo que representa una medida de la parte de variabilidad de la variable dependiente que no se explica por el modelo de regresión.

En general cuanto mejor es el ajuste, más pequeño es este error típico. El error típico es la raíz cuadrada de la **media cuadrática residual** y viene dado por la Ecuación 22. (Capítulo 18. Análisis de regresión lineal. El procedimiento de Regresión lineal. Guía SPSS) [150]

$$Se = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - 2}} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde:

- \hat{Y}_i = Cada uno de los valores pronosticados de la variable dependiente
- Y_i = Cada uno de los valores de la variable dependiente
- n = número de datos.

Para los modelos de regresión lineal múltiple, el error típico se obtiene de la Ecuación 23.

$$Se = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k - 1}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

- k = número de las variables independientes del modelo.

En regresión lineal, otro de los análisis que se pueden realizar es el Análisis de la Varianza (**ANOVA**), lo que permite decidir si existen relaciones significativas entre las variables. Este análisis basa sus decisiones en el estadístico F de Snedecor, que permite contrastar la hipótesis nula de ser el valor del coeficiente de correlación cero ($R=0$), lo que equivale, en el modelo de regresión simple, a contrastar la hipótesis nula de las pendientes en la recta de regresión ($\beta=0$).

Si el valor de significación es $\leq 0,05$, será improbable que $R = 0$, por lo que existe una relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de las variables independientes tomadas juntas.

El análisis de ANOVA ofrece información sobre la varianza y da una pista más sobre la adecuación del modelo de regresión para estimar los valores de la variable dependiente.

La varianza se descompone en varianza explicada por el modelo y por la varianza residual, es decir, aquella que el modelo no es capaz de explicar a partir de las variables introducidas.

Otra información que se puede obtener en un análisis de regresión son los coeficientes de correlaciones parciales, un **coeficiente de correlación parcial** indica el grado de relación que existe entre dos variables después de eliminar el efecto de terceras variables, es decir expresan el grado de relación que hay entre cada variable independiente y la variable dependiente tras desaparecer el efecto del resto de las variables independientes incluidas en el modelo.

Una vez obtenido el modelo de regresión para predecir los consumos se debe comprobar que se verifican las hipótesis del modelo:

- Linealidad de las variables.
- Normalidad de las variables y los residuos,
- Independencia (no autocorrelación) de los residuos.
- Homocedasticidad de los residuos (homogeneidad de la varianza), comprobando la no existencia de correlación entre los residuos, los pronósticos y las variables independientes para demostrar la aleatoriedad de los residuos.

En los modelos de regresión lineal múltiple, se comprueba también:

- Falta de multicolinealidad en las variables independientes, analizando los índices de condición, según los diagnósticos de colinealidad.

All.5.Pruebas paramétricas. T-Student.

Para poder tomar decisiones en los contrastes de hipótesis, la estadística posee dos tipos de pruebas las paramétricas y las no paramétricas.

Las pruebas paramétricas consideran valores calculados con los datos de la población y para puedan ser utilizadas deben cumplirse una serie de hipótesis que, en caso, de no cumplirse impiden su utilización.

Para poder aplicar las pruebas paramétricas los datos deben ser valores numéricos, independientes unos de otros, las varianzas poblacionales de las variables en estudio deben ser similares (homocedasticidad), la relación entre las variables debe ser de tipo lineal y la distribución de las variables en la población debe seguir una distribución normal. (Ramalle Gómara & Andrés de Llano, 2003) [151].

Las pruebas no paramétricas pueden ser utilizadas sin cumplir esas hipótesis previas, pueden emplearse con datos nominales y ordinales, la distribución poblacional puede ser cualquiera y tampoco es necesario conocer ni suponer nada acerca de las varianzas poblacionales. Pero, las pruebas paramétricas tienen más potencia que las no paramétricas, es decir tienen más probabilidad de elegir la hipótesis alternativa cuando es cierta, lo que implica que tienen más capacidad de encontrar diferencias significativas cuando es cierto que existen.

Es por ello que en esta investigación se ha utilizado la prueba paramétrica t-Student, prueba t de estudiante o Test -T, para valorar la existencia de diferencias significativas entre los consumos pronosticados en caso de haber existido la red de calor y los consumos que realmente se han obtenido tras la construcción de la red de calor.

Esta prueba utiliza como estadístico un parámetro que tiene una distribución t de Student si la hipótesis nula es cierta, se utiliza cuando las observaciones se distribuyen según una Normal pero el tamaño de la muestra es demasiado pequeño como para que el estadístico en el que está basada la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula se distribuya según una normal.

En la investigación se ha utilizado el contraste de hipótesis para la comparación de medias con varianzas desconocidas e iguales, es decir la prueba paramétrica "t" de Student para muestras relacionadas, especialmente indicada para la comparación de las medias de dos grupos cuando existe algún tipo de relación entre los individuos de ambos grupos.

En el estudio: la relación existente es que se trababa de los consumos asociados a la misma instalación, pero en diversos periodos de tiempo.

La hipótesis nula que se plantea es la igualdad de medias es decir la no existencia de diferencias significativas entre las medias aritméticas de las dos poblaciones. De este modo, si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, se rechaza H_0 y se puede afirmar que existen diferencias significativas. En caso contrario no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyendo que las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas y no van más allá de lo que sería esperable por azar (Navidi, 2006) [152], todo ello con la aceptación de un riesgo de error del 5%, o lo que es lo mismo un nivel de confianza del 95%.

ANEXO III. DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS DE LA RED DE CALOR DE LA UVA

AIII.1. Edificios del Campus Miguel Delibes.

Todos los edificios conectados a la red que pertenecen a este Campus, originalmente contaban con calderas de gas natural.

D1. Apartamentos Cardenal Mendoza

Situados en Camino Cementerio, 22. 47011 Valladolid. (Figuras 155 y 156)

La superficie total construida es de 17.616 m². Fueron inaugurados en 1996 y el complejo consta de 201 apartamentos con 2 habitaciones individuales cada uno de ellos, baño, salón y cocina. Además los apartamentos cuentan con servicios comunes de conserjería, garaje, restaurante y salones. (Universidad de Valladolid) [153].

Inicialmente contaban con dos calderas de 479 kW y 596 kW para calefacción y una tercera de 479 kW para ACS. La potencia total instalada inicialmente era de 1.554 kW.



Figura 155. Ubicación Apartamentos Cardenal Mendoza (D1).



Figura 156. Fotografía de los Apartamentos Cardenal Mendoza (D1).

D2. Biblioteca de los Apartamentos Cardenal Mendoza.

Ubicada en el mismo complejo que los Apartamentos, cuenta con una superficie construida de 464 m² y una sala de calderas con una caldera de 40,9 kW para calefacción. (Figura 157). (Fundación General de la Universidad de Valladolid. (FUNGE)) [154].



Figura 157. Biblioteca de los Apartamentos Cardenal Mendoza (D2)

D3. Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas (CTTA)

Situado en Paseo de Belén, 9A. 47011 Valladolid. (Figuras 158 y 159)

La superficie total construida es de 5.487 m². Forma parte del la Fundación del Parque Científico UVA, que inicia su actividad en el 2007.

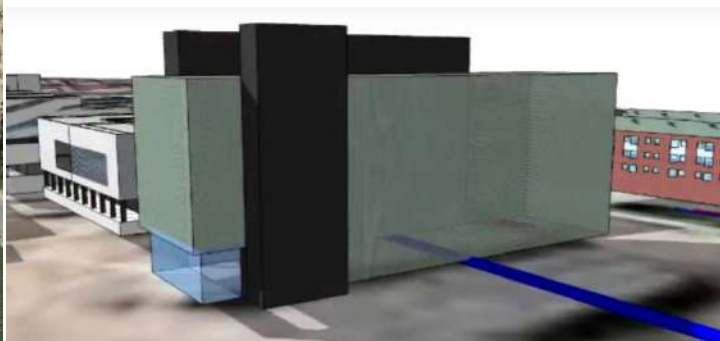


Figura 158. Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas. CTTA. (D3)



Figura 159. Fotografías del Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas. CTTA. (D3)

Inicialmente contaba con tres calderas de 116 kW para calefacción, lo que hace una potencia total de 348 kW instalada.

D4. Biblioteca - Aulario Miguel Delibes

Situado en Paseo de Belén, 9. 47011 Valladolid. (Figuras 160 y 161)

La superficie total construida es de 14.541 m². Se encuentra en servicio desde el curso 2012-2013. Inicialmente contaba con dos calderas de 570 kW para calefacción, lo que hace una potencia total 1.140 kW instalada.



Figura 160. Biblioteca – Aulario Miguel Delibes (D4)



Figura 161. Fotografías de la Biblioteca – Aulario Miguel Delibes (D4)

D5. Edificio del Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada (IOBA)

Situado en Paseo de Belén, 17. 47011 Valladolid. (Figuras 162 y 163)

La superficie total construida es de 4.146 m². El edificio empezó a funcionar en el año 2008. Inicialmente contaba con dos calderas de 40,7 kW para calefacción, lo que hace una potencia total 81 kW instalada.



Figura 162. Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada. IOBA. (D5)



Figura 163. Fotografías del Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada. IOBA. (D5)

D6. Nueva Facultad de Ciencias

Situado en Paseo de Belén, 7. 47011 Valladolid. (Figuras 164 y 165)

La superficie total construida es de 19.134 m². El edificio se empezó a utilizar como Facultad de Ciencias en el curso 2009 - 2010. Inicialmente contaba con dos calderas de 581 kW para calefacción, lo que hace una potencia total 1.162 kW instalada.

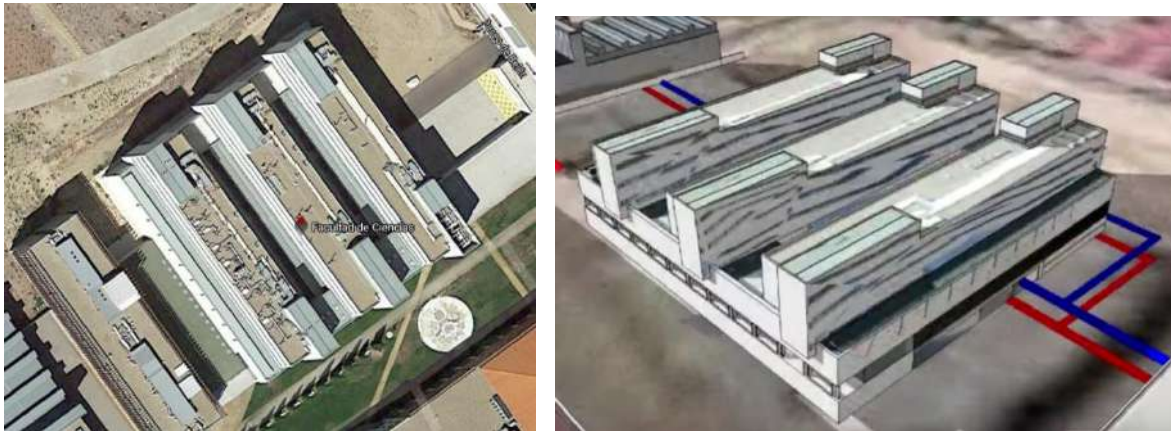


Figura 164. Facultad de Ciencias (D6)



Figura 165, Fotografías de Facultad de Ciencias (D6)

D7. Telecomunicaciones e Informática

Situado en Paseo de Belén, 15. 47011 Valladolid. (Figuras 166 y 167)

La superficie total construida es de 20.179 m². En funcionamiento desde 1997. (Encinas, A.G, 2017) [155]. Inicialmente contaba con seis calderas de 326 kW para calefacción, lo que hace una potencia total 1.956 kW instalada.



Figura 166. Telecomunicaciones e Informática (D7)



Figura 167. Fotografía de Telecomunicaciones e Informática (D7)

D8. Edificio de Química Fina y Materiales Avanzados (QUIFIMA)

Situado en Paseo de Belén, 15. 47011 Valladolid. (Figuras 168 y 169)

La superficie total construida es de 5.610 m². Se construyó en el 2004 y fue inaugurado en el 2008). Inicialmente contaba con dos calderas de 233 kW cada una para calefacción, lo que hace una potencia total 466 kW instalada.

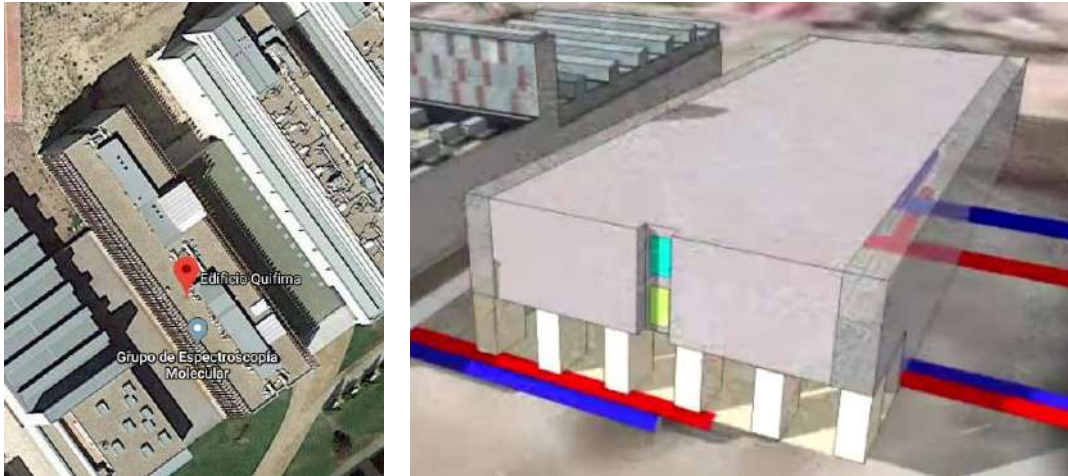


Figura 168. Edificio Química Fina y Materiales Avanzados (QUIFIMA) (D8)



Figura 169. Fotografías del Edificio Química Fina y Materiales Avanzados (QUIFIMA) (D8)

D9. Gimnasio de la Facultad de Educación

Situado en Paseo de Belén, 1. 47011 Valladolid. (Figuras 170 y 171)

La superficie total construida es de 3.673 m². Se podría fechar en el mismo año que la Facultad de Educación: 2001. Inicialmente contaba con cuatro calderas de 127 kW cada una, lo que hace una potencia total de 508 kW instalada.



Figura 170. Gimnasio de la UVA. (D9)



Figura 171. Fotografía del Gimnasio de la UVA (D9)

D10. Centro de Idiomas

Situado en Paseo de Belén, 13. 47011 Valladolid. (Figuras 172 y 173)

La superficie total construida es de 5.636 m². Puesto en funcionamiento en 1996. Inicialmente contaba con una caldera de 326 kW para calefacción.



Figura 172. Centro de Idiomas (D10)



Figura 173. Fotografía del Centro de Idiomas (D10)

D11. Facultad de Educación y Trabajo Social

Situado en Paseo de Belén, 1. 47011 Valladolid. (Figuras 174 y 175)

La superficie total construida es de 14.943 m². Se puso en funcionamiento en 2001. Inicialmente contaba con dos calderas de 500 kW cada una para calefacción, lo que hace una potencia total instalada de 1.000 kW.



Figura 174. Facultad de Educación y Trabajo Social (D11)



Figura 175. Fotografía Facultad de Educación y Trabajo Social (D11)

D12. Edificio de I+D

Situado en Paseo de Belén, 11. 47011 Valladolid. (Figuras 176 y 177)

La superficie total construida es de 7.412 m². Se puso en funcionamiento en el 2007. Inicialmente contaba con dos calderas de 401 kW cada una para calefacción, lo que hace una potencia total instalada de 802 kW.



Figura 176. Edificio de I+D (D12)



Figura 177. Fotografía del Edificio de I+D (D12)

AIII.2. Edificios del Campus Río Esgueva.

E1. Edificio del Servicio de Mantenimiento

Situado en Avenida Valle Esgueva, 2. 47011 Valladolid. (Figuras 178 y 179)

La superficie total construida es de 1.681 m². Edificio de 1940 que se puso al servicio de la UVA en 1989. (Anta, 2017) [156]. Inicialmente contaba con una sala de calderas con una caldera de 291 kW para calefacción de gasóleo.

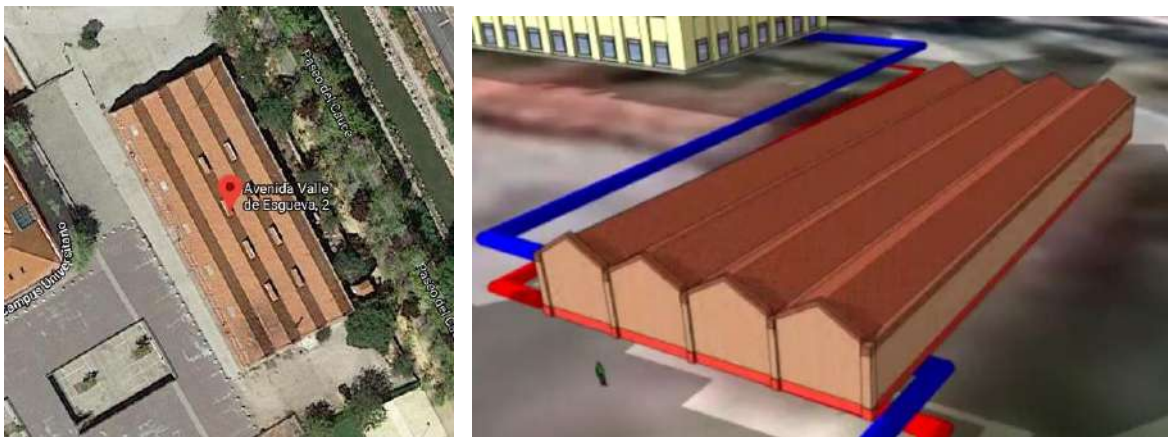


Figura 178. Edificio del Servicio de Mantenimiento (E1)



Figura 179. Fotografía de edificio del servicio de mantenimiento (E1)

E2. Escuela Universitaria de Empresariales. Facultad de Comercio

Situado en Plaza del Campus, 1. 47005 Valladolid. (Figuras 180 y 181)

La superficie total construida es de 11.160 m². Se puso en funcionamiento en 1994. (Universidad de Valladolid (UVA), 2018) [157]. Inicialmente contaba con una sala de calderas con tres calderas de gasóleo de 407 kW, 291 kW y 291 kW para calefacción, lo que suma un total de 989 kW de potencia instalada.



Figura 180. Facultad de Comercio (E2)



Figura 181. Fotografías de la Facultad de Comercio (E2)

E3. Facultad de Filosofía y Letras

Situado en Plaza del Campus, s/n. 47011 Valladolid. (Figuras 182 y 183)

La superficie total construida es de 21.709 m². El edificio se puso en funcionamiento en 1997. Inicialmente contaba con una sala de calderas con dos calderas de gas de 465 kW, para calefacción, lo que suma un total de 930 kW de potencia instalada.

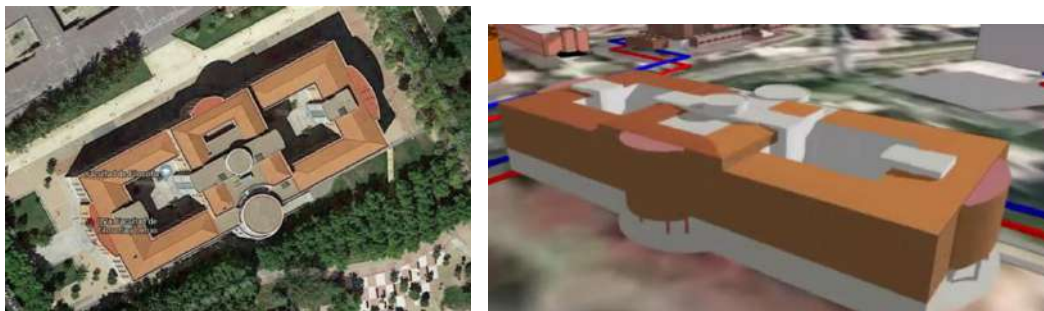


Figura 182. Facultad de Filosofía y Letras (E3)



Figura 183. Fotografías de la Facultad de Filosofía y Letras (E3)

E4. Antigua Facultad de Ciencias. Escuela de Ingenierías Industriales.

Situado en C/ Doctor Mergelina s/n. 47011 Valladolid. (Figuras 184 y 185)

La superficie total construida es de 32.305 m². El edificio se puso en funcionamiento en 1968. Inicialmente contaba con dos salas de calderas una de ellas con dos calderas de gasóleo de 1.453 kW, 930 kW y en la segunda sala de calderas una caldera de gasóleo de 756 kW, para calefacción, lo que suma un total de 3.139 kW de potencia instalada.



Figura 184. Antigua Facultad de Ciencias. Escuela de Ingenierías Industriales (E4)



Figura 185. Fotografías Antigua Facultad de Ciencias. Escuela de Ingenierías Industriales (E4)

E5. Edificio Alfonso VIII.

Situado en C/ Real de Burgos, 2. 47011 Valladolid. (Figuras 186 y 187)

La superficie total construida es de 20.016 m². La residencia se puso en funcionamiento en 1991. Inicialmente contaba con una sala de calderas con tres calderas de gasóleo, dos de 2.326 kW cada una para calefacción y una de 291 kW para Agua Caliente Sanitaria, lo que suma un total de 4.943 kW de potencia instalada.



Figura 186. Edificio Alfonso VIII (E5)



Figura 187. Fotografías Edificio Alfonso VIII (E5)

E6. Edificio Colegio Mayor Femenino Santa Cruz.

Situado en C/ Real de Burgos, s/n. 47011 Valladolid. (Figuras 188 y 189)

La superficie total construida es de 6.660 m². La residencia se inauguró en 1981, situada en el edificio que albergó la Escuela Universitaria de Enfermería. Inicialmente contaba con una sala de calderas con dos calderas de gas, de 358 kW cada una para calefacción y Agua Caliente Sanitaria, lo que suma un total de 716 kW de potencia instalada.

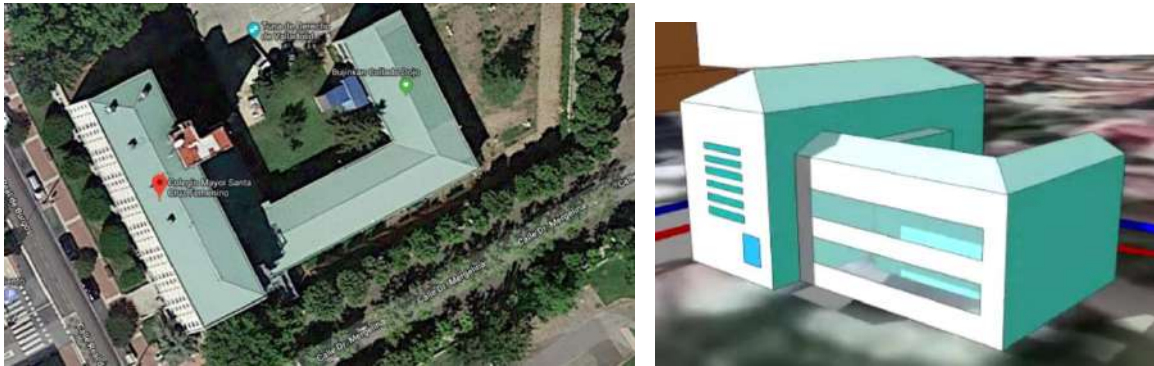


Figura 188. Colegio Mayor Femenino Santa Cruz (E6)



Figura 189. Fotografías del Colegio Mayor Femenino Santa Cruz (E6)

E7. Instituto de Biología y Genética Molecular (IBGM)

Situado en C/ Sanz y Forés, 3. 47003 Valladolid. (Figuras 190 y 191)

La superficie total construida es de 3.919 m². Se inauguró en el 2005. (Europa Press, 2011) [158]. Inicialmente contaba con una sala de calderas con dos calderas de gas, de 233 kW cada una para calefacción y Agua Caliente Sanitaria, lo que suma un total de 466 kW de potencia instalada.

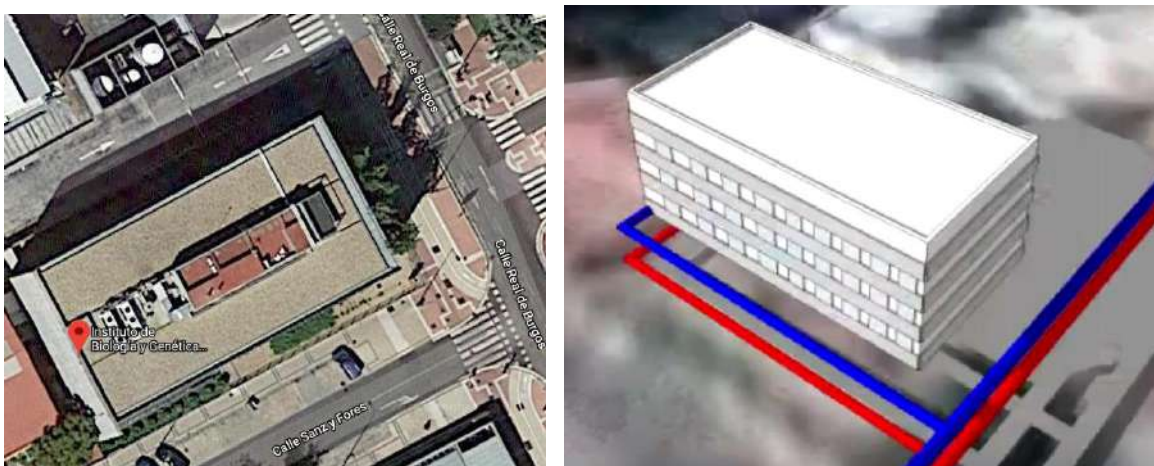


Figura 190. Instituto de Biología Genética y Molecular. (IBGM) (E7)



Figura 191. Fotografías del Instituto de Biología Genética y Molecular. (IBGM) (E7)

E8. Facultad de Ciencias de la Salud

Situado en Avenida Ramón y Cajal, 7. 47005 Valladolid. (Figuras 192 y 193)

La superficie total construida es de 29.802 m². En 1889, se inauguró la Facultad en su actual emplazamiento y en 1960 se anexó el edificio del bloque central.

Cuenta con 4 salas de calderas, con una potencia total instalada de 2.320 kW.

- Una sala en Anatomía con dos calderas de gas natural de 265 kW y 75 kW para Calefacción y ACS, lo que hace una potencia de 340 kW
- Un sala en el cuerpo central con dos calderas de gas natural de 265 kW y 705 kW para Calefacción, lo que hace una potencia de 970 kW
- Una sala en el ala derecha, con dos calderas de gas natural de 285 kW cada una, para Calefacción, lo que hace una potencia de 570 kW
- Una última sala en el ala izquierda, con dos calderas de gas natural de 265 kW y 175 kW para Calefacción y ACS, lo que hace una potencia de 440 kW



Figura 192. Facultad de Ciencias de la Salud (E8)



Figura 193. Fotografías Facultad de Ciencias de la Salud (E8)

E13. Facultad de Económicas

Situado en Avenida Valle Esgueva, 6. 47011 Valladolid. (Figuras 194 y 195)

La superficie total construida es de 17.776 m². Se puso en funcionamiento en 1982 (Anta, 2017) [156]. Inicialmente contaba con una sala de calderas con dos calderas de gas, de 802 kW cada una para calefacción, lo que suma un total de 1.604 kW de potencia instalada.

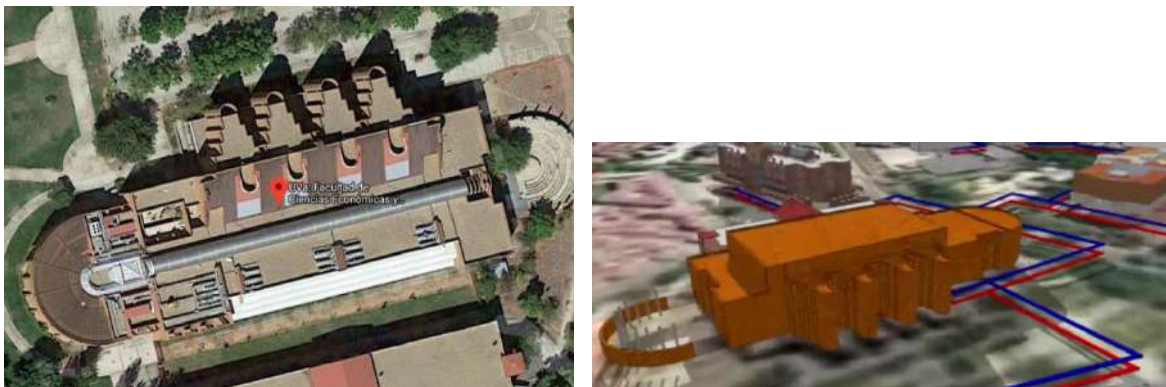


Figura 194. Facultad de Económicas (E13)



Figura 195. Fotografías de la Facultad de Económicas (E13)

E14. Aulario del Campus Esgueva

Situado en Calle Reyes Magos, s/n. 47011 Valladolid. (Figuras 196 y 197)

La superficie total construida es de 7.569 m². Se construyó en 1986. (Sede Electrónica del Catastro) [159]. Inicialmente contaba con una sala de calderas con dos calderas de gasóleo de 233 kW y 174 kW para calefacción, lo que suma un total de 407 kW de potencia instalada.

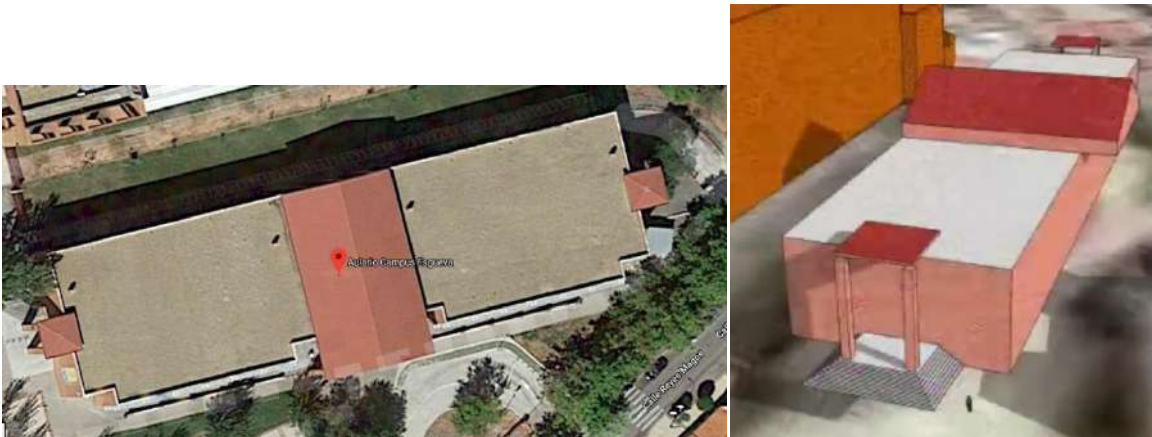


Figura 196. Aulario del Campus Esgueva (E14)



Figura 197. Fotografías del Aulario del Campus Esgueva (E14)

E15. Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Paseo del Cauce)

Situado en Paseo del Cauce, 59. 47011 Valladolid. (Figuras 198 y 199)
La superficie total construida es de 18.512 m². Se puso en funcionamiento en 1985. (Anta, 2017) [156]. Inicialmente contaba con cuatro calderas de gas natural de 581 kW cada una, para calefacción, lo que suma un total de 2.326 kW de potencia instalada.

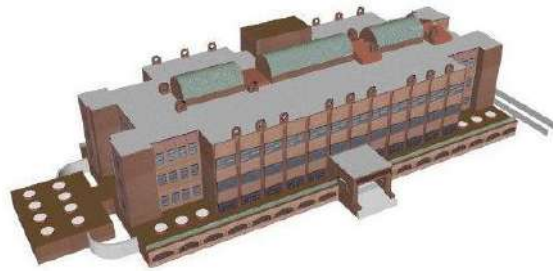


Figura 198. Escuela de Ingenierías Industriales (sede Paseo del Cauce) (E15)



Figura 199. Fotografías de la Escuela de Ingenierías Industriales (sede Paseo del Cauce) (E15)

ANEXO IV. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS MIGUEL DELIBES

AIV.1. Edificio D1. Apartamentos Cardenal Mendoza

AIV.1.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Tal como se ha expuesto en el capítulo anterior los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia parte de los datos de consumo térmico de las temporadas: octubre de 2012 a mayo de 2013 y de octubre de 2013 a mayo de 2014, junto con los datos climáticos de dichas temporadas. Los datos de consumo se muestran en la Tabla 149.

Tabla 149. Consumos térmicos del edificio D1

Consumos térmicos (kWh). D1	
oct-12	52.823
nov-12	220.904
dic-12	228.313
ene-13	239.241
feb-13	273.273
mar-13	210.397
abr-13	219.730
may-13	135.157
oct-13	35.931
nov-13	0
dic-13	322.634
ene-14	320.896
feb-14	307.368
mar-14	165.884
abr-14	156.449
may-14	28.883
Promedio	194.526
Total (oct-12-may-13)	1.579.838
Total (oct-13-may-14)	1.338.045
Total (oct-12-may-13)	2.917.883

Se disponen de 15 datos para establecer el modelo de regresión con las variables climáticas, no se ha tenido en cuenta el consumo del mes de noviembre de 2013, por no estar registrado.

Utilizando el programa SPSS V.20, se obtiene el modelo de regresión mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 150 para el edificio D1, el método ofrece dos modelos de regresión, uno con una sola variable (Temperatura media) y otro con dos variables (Temperatura media y velocidad del viento nocturna).

El primer modelo (modelo de regresión lineal simple) fue construido con un solo paso, incluyendo la Temperatura media por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000) que indica la probabilidad de cometer un error al rechazar que la pendiente de la variable “Temperatura media” es igual a cero, por lo que se acepta que esa variable forma parte del modelo con una pendiente (B= -23838,939).

El segundo modelo (modelo de regresión lineal múltiple) se construyó en dos pasos, primero entró la Temperatura media y luego entró la siguiente variable que rechazase la Hipótesis nula, (las variables que rechazan la hipótesis nula son las que presentan una pendiente estadísticamente significativa y su probabilidad de cometer el error de rechazar H_0 es $\leq 0,05$, para un nivel de confianza del 95 %), esta variable fue la “velocidad de viento nocturna”, por presentar un valor de Sig = 0,042, el resto de las variables como se observa en la Tabla 151 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig $>0,05$.

Tabla 150. Modelos de regresión del Edificio D1

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B		
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	391037,854	28911,845	13,525	,000	328577,609	453498,099
	T_med	-23838,939	3218,214	-7,408	,000	-30791,468	-16886,410
2	(Constante)	271370,906	58247,979	4,659	,001	144459,462	398282,350
	T_med	-20045,184	3257,020	-6,154	,000	-27141,621	-12948,747
	V_viento_nocturna_m/s	50568,513	22202,726	2,278	,042	2192,929	98944,097

En la Figura 200 se representa el modelo 1 de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

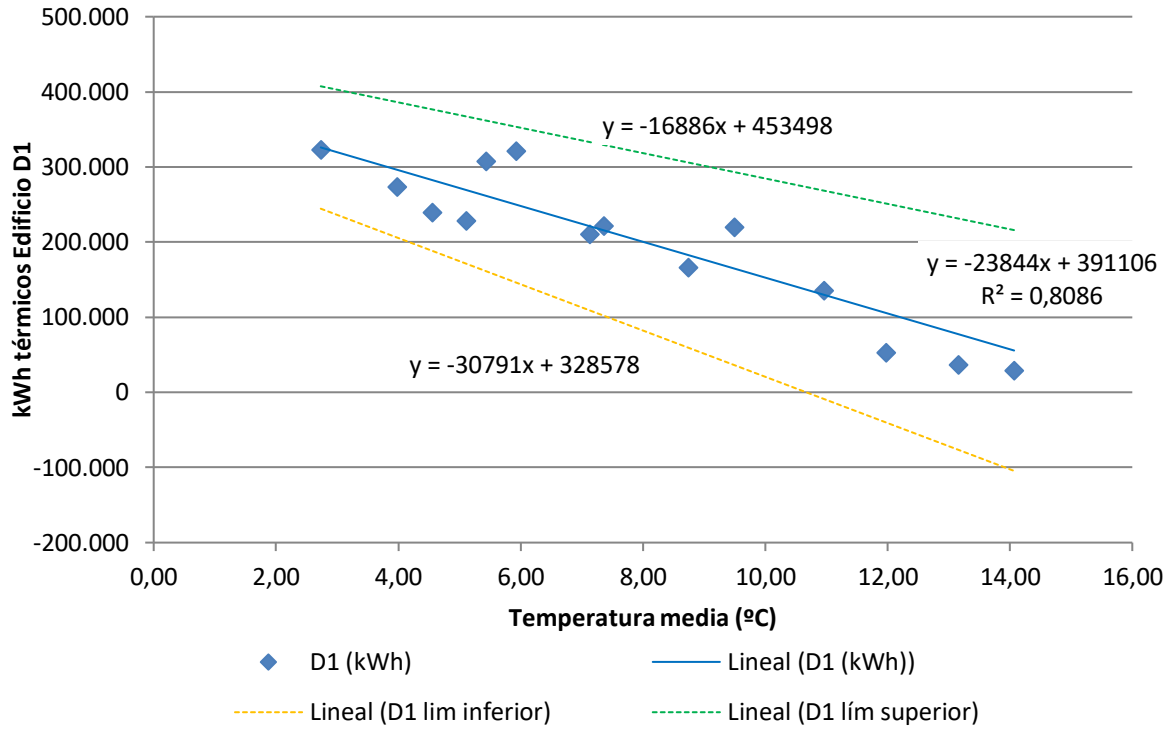


Figura 200. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D1

En la Figura 201 se representa el modelo 2 de regresión lineal múltiple para el edificio D1

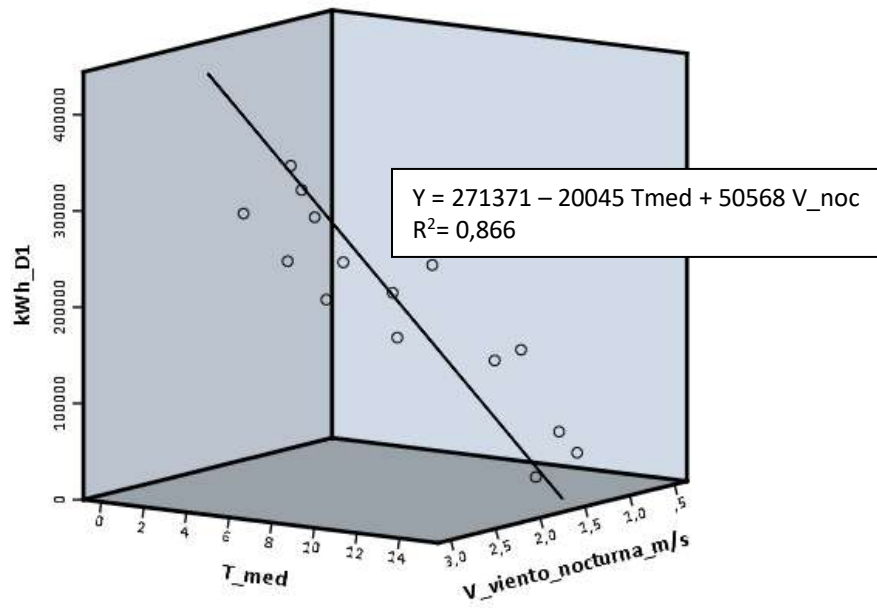


Figura 201. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio D1

Los valores de la columna t se obtienen dividiendo el valor de los coeficientes no estandarizados entre sus errores típicos, este estadístico tiende a ser mayor en valor absoluto cuando la hipótesis alternativa es verdadera, es decir cuando la variable posee una pendiente significativa en el modelo de regresión.

En las tablas 26 y 27, el estadístico t y su nivel crítico (Sig), permiten contrastar la hipótesis nula consistente en que el coeficiente de regresión vale cero en el modelo; a mayor valor de t, mayor peso en el modelo.

El valor “Sig” corresponde a los valores de probabilidad de los valores de t, es la probabilidad de obtener el valor de t si la hipótesis nula fuera cierta, cuando son $\leq 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las pendientes son distintas de cero, luego si $\text{Sig} > 0,05$ se acepta la hipótesis nula de que la pendiente de la variable independiente en el modelo de regresión es igual a cero, no cumpliendo el criterio de entrada en el modelo.

La correlación parcial, que aparece en la Tabla 151 estudia la relación existente entre dos variables cuantitativas cuando se controla o elimina el efecto de terceras variables, en el modelo de regresión lineal, a mayor valor absoluto, mayor relación entre la variable dependiente y la independiente.

Tabla 151. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D1

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,906	,383	-,253
	GD20_30min	-,833	,421	-,234
	GD15_24h	-1,326	,210	-,357
	GD20_24h	-,821	,427	-,231
	T_media_diurna	-,076	,940	-,022
	T_max	-,568	,580	-,162
	T_min	-,114	,911	-,033
	HR_%	-,456	,657	-,130
	HR_med_diurna_%	-,363	,723	-,104
1	HR_max_%	-,863	,405	-,242
	HR_min_%	-,260	,799	-,075
	Radiación_W/m2	,798	,440	,224
	V_Viento_m/s	2,129	,055	,524
	V_viento_diurna_m/s	2,030	,065	,506
	V_viento_nocturna_m/s	2,278	,042	,549
	V_viento_max_m/s	1,958	,074	,492
	Recorrido_viento_km/día	2,141	,053	,526
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,472	,645	-,135
	Horas insolación_h	-,576	,576	-,171

	Modelo	T	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,563	,585	-,167
	GD20_30min	-,880	,398	-,256
	GD15_24h	-,504	,624	-,150
	GD20_24h	-,125	,903	-,038
	T_media_diurna	-,285	,781	-,086
	T_max	,062	,952	,019
	T_min	,368	,720	,110
	HR_%	,282	,783	,085
2	HR_med_diurna_%	,346	,736	,104
	HR_max_%	,249	,808	,075
	HR_min_%	-,006	,995	-,002
	Radiación_W/m2	-,463	,652	-,138
	V_Viento_m/s	-,352	,731	-,106
	V_viento_diurna_m/s	-,278	,786	-,084
	V_viento_max_m/s	-,414	,687	-,124
	Recorrido_viento_km/día	-,830	,424	-,243
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,187	,855	-,056
	Horas insolación_h	-,576	,576	-,171

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D1, se resumen en la Tabla 152

Tabla 152. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D1

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-0,899	,808	,794	44516,90807
2	-0,931	,866	,844	38716,12419

Se observa como el modelo 1 de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) inferior en valor absoluto al modelo 2 de regresión lineal múltiple, este coeficiente indica que las variables de los modelos están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce en ambos modelos es inversa, al aumentar el valor de las variables independientes disminuye el valor de la variable dependiente que es el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo 1 se podría explicar el 80,8% de los datos reales obtenidos y el modelo 2, el porcentaje de aciertos o de explicación asciende al 86,6%, ambos aceptando un error del 5%.

El coeficiente de determinación corregido (R^2 corregido) que tiene en cuenta el número de variables independientes incluidas en el modelo y el tamaño de la muestra, reduce el coeficiente de determinación al 79,4% en el modelo 1 y al 84,4 % en el modelo 2.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 44.517 kWh para el modelo 1 y de 38.716 kWh para el modelo 2, lo que representa un 22,9% del promedio de los consumos que fue de 194.526 kWh para el modelo 1 y del 19,9% para el modelo 2.

Por tanto aunque el modelo 2 es más preciso, también es aceptado el modelo 1 para la representación de la línea base de los consumos térmicos del edificio D1.

AIV.1.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 150, la pendiente (B), para el modelo 1, obtuvo un valor de $\text{Sig} = 0,000$, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D1) y la independiente (Temperatura media). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media.

Para el modelo 2, según la misma Tabla 150, las pendientes de las dos variables introducidas en el modelo obtuvieron unos valores de $\text{Sig} = 0,000$ para la Temperatura media y de 0,042 para la Velocidad del viento nocturna, ambos $\leq 0,05$, lo que nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D1) y las independientes (Temperatura media y velocidad del viento nocturna). Al ser el valor de la primera pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media y de la segunda pendiente positiva, indica relación directa entre el consumo y la velocidad del viento nocturna.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de las variables independientes (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal, luego si la probabilidad del estadístico del test es \leq al nivel de significación 0,05, la hipótesis nula es rechazada y sólo aceptaremos que las variables se distribuyen según una Normal cuando el valor de la significación sea mayor que 0,05 (valor de la significación $> 0,05$) en el Test de Shapiro Wilk.

La Tabla 153, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio D1), como las variables independientes: Temperatura media y velocidad de viento nocturna poseen una Sig $> 0,05$, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 153. Prueba de normalidad para el edificio D1

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D1	,164	15	,200*	,922	15	,203
T_med	,134	15	,200*	,939	15	,375
V_viento_nocturna_m/s	,135	15	,200*	,973	15	,903

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo $[dU, 4-dU]$, de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es:

- para el modelo 1 de 1,782 (Regresión lineal simple)
- para el modelo 2 de 2,440 (Regresión lineal múltiple)

En el modelo 1, $n = 15$ y $k = 1$, según la Tabla 3, el valor $dU = 1,361$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,361, 2,639]$, como el valor del estadístico 1,782 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

En el modelo 2, $n = 15$ y $k = 2$, según la Tabla 3, el valor $dU = 1,543$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,543, 2,457]$, como el valor del estadístico 2,440 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

- **Homocedasticidad de la varianza.** Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la(s) variable(s) independiente(s) (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.

Esta condición indica que el error es una variable aleatoria que tomará un valor distinto cada vez que se ejecute el modelo y que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos.

La forma de comprobar la homocedasticidad es verificando si el coeficiente de determinación R^2 , que indica la proporción de la variable dependiente (Y o consumo del edificio) que puede ser explicada por la variación de las variables independientes (las variables climatológicas), en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variables independientes es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Para el modelo 1. Regresión lineal simple, las Figura 202 y Figura 203, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = $1,11 \times 10^{-16}$, cercano a cero y entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación de $-2,22 \times 10^{-16}$, también prácticamente nulo; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

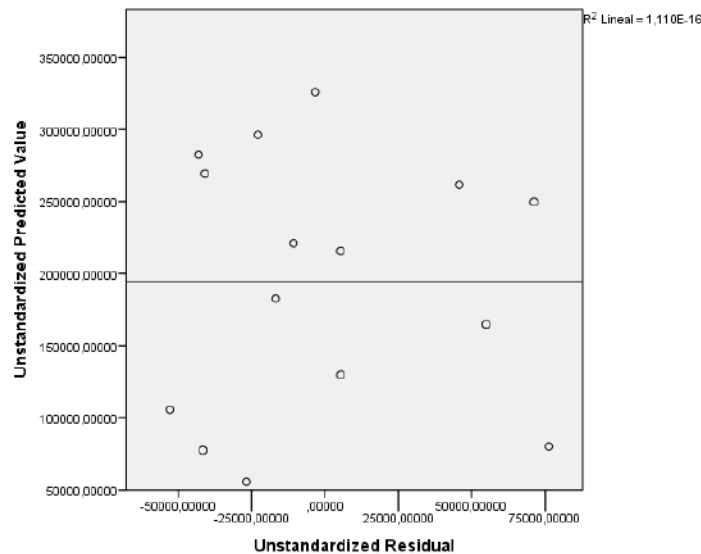


Figura 202. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D1. Modelo 1

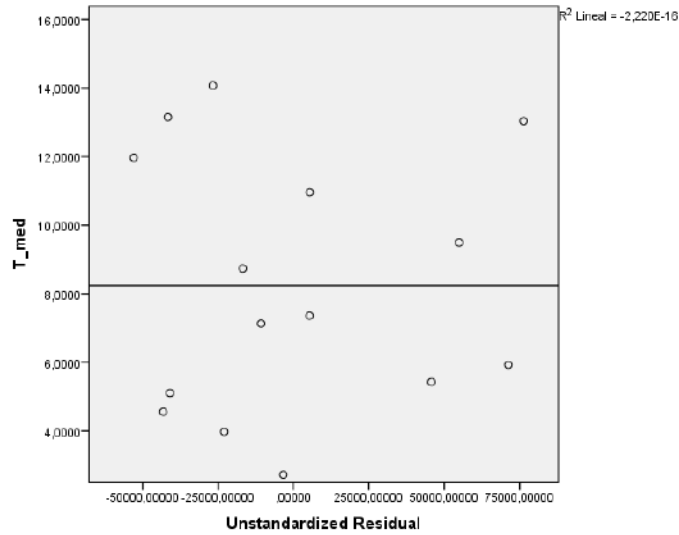


Figura 203. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D1. Modelo 1

Para el modelo 2. Regresión lineal múltiple, las Figura 204, Figura 205 y Figura 206, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación $= -2,22 \times 10^{-16}$, cercano a cero, entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación de $-2,22 \times 10^{-16}$, también prácticamente nulo y entre la variable independiente (velocidad del viento nocturna) y los residuos de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

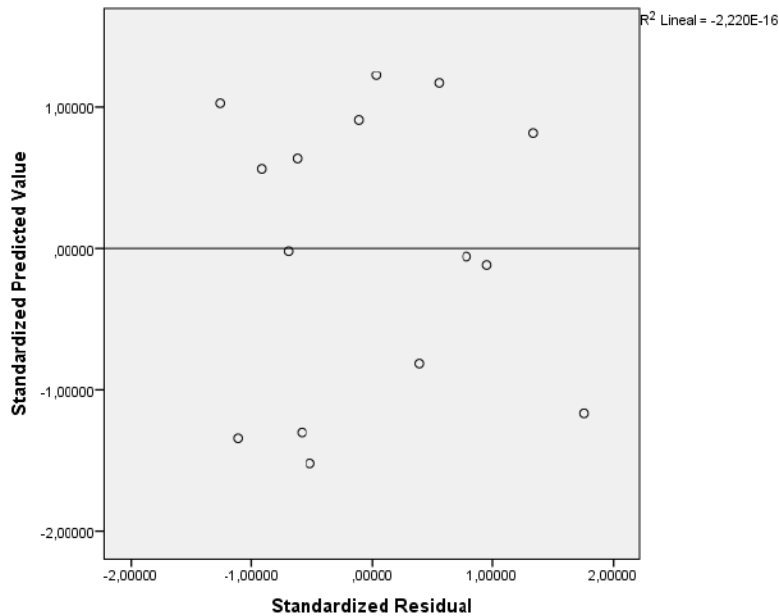


Figura 204. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D1. Modelo 2

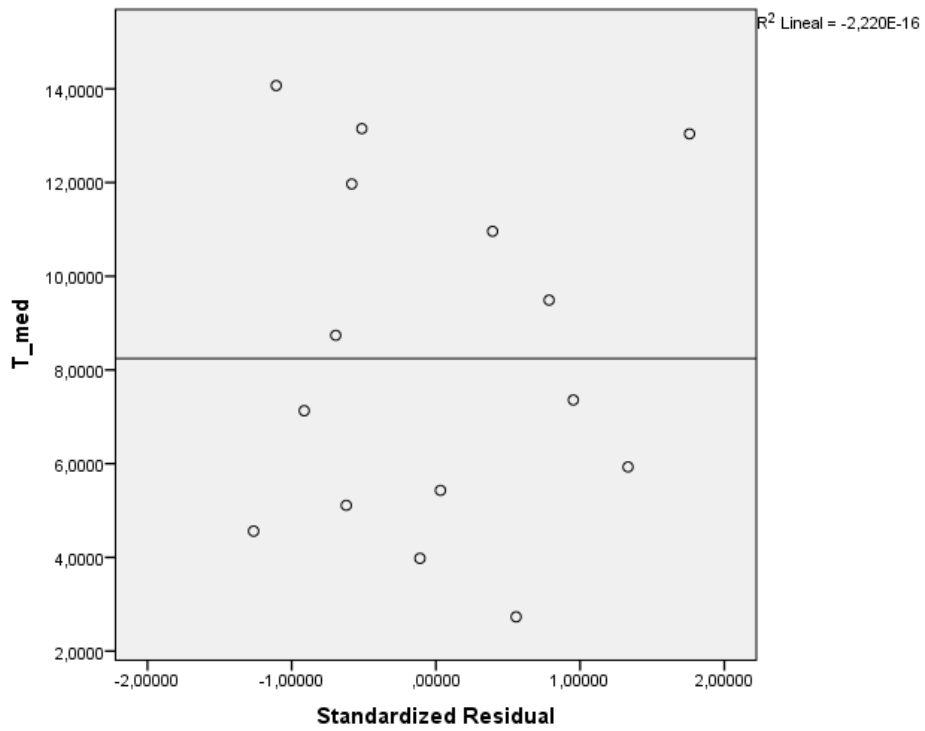


Figura 205. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D1. Modelo 2

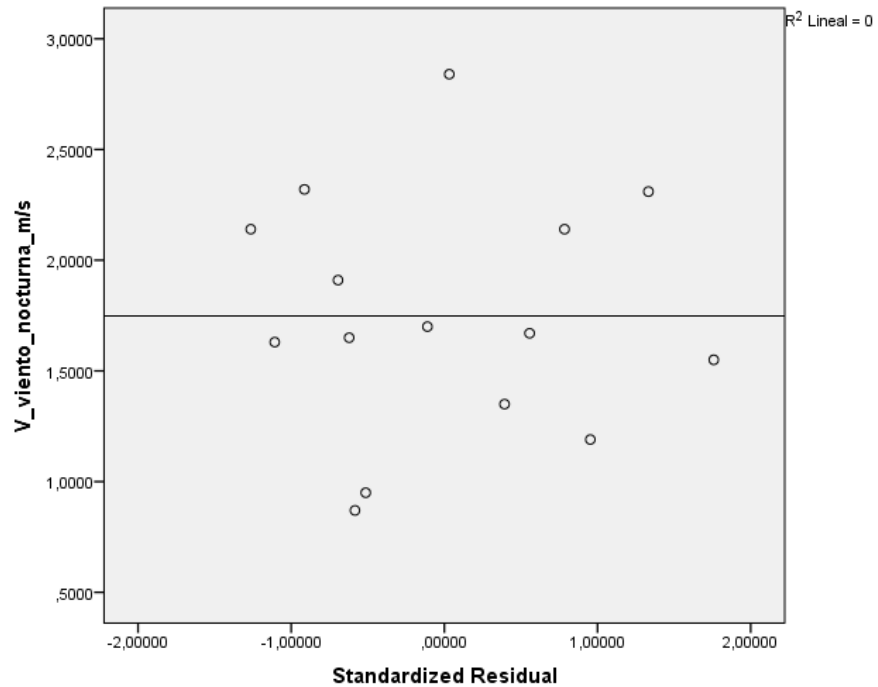


Figura 206. Relación entre la velocidad nocturna y los residuos. Edificio D1. Modelo 2

- Cuando la regresión es lineal múltiple, se comprueba la falta de multicolinealidad o No-Colinealidad entre las variables independientes, es decir que las variables que forman parte del modelo no están correlacionadas entre ellas.

El problema de la multicolinealidad es moderado cuando el índice de condición toma un valor entre 20 y 30 y es grave cuando el índice de condición toma un valor superior a 30. El número de condición mide la sensibilidad de las estimaciones mínimo-cuadráticas ante pequeños cambios en los datos a mayor valor más correlación entre las variables.

La Tabla 154, muestra los índices de condición de las variables del modelo de regresión múltiple, ninguno de ellos supera el valor 20, por lo que no existen evidencias de correlación entre las variables independientes del modelo

Tabla 154. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el EdificioD1

Modelo	Dimensión	Índice de condición
2	1	1,000
	2	3,915
	3	12,192

En cuanto a los índices estadísticos de colinealidad como son los niveles Tolerancia y su inverso que son los Factores de Inflación de la Varianza (FIV). El nivel de tolerancia se obtiene restando a 1 el coeficiente de determinación (R^2). Como se observa en la Figura 207, el coeficiente de determinación entre las dos variables independientes es $R^2 = 0,262$, luego la Tolerancia es $T = 1 - R^2 = 1 - 0,262 = 0,738$ y $FIV = 1/T = 1,354$

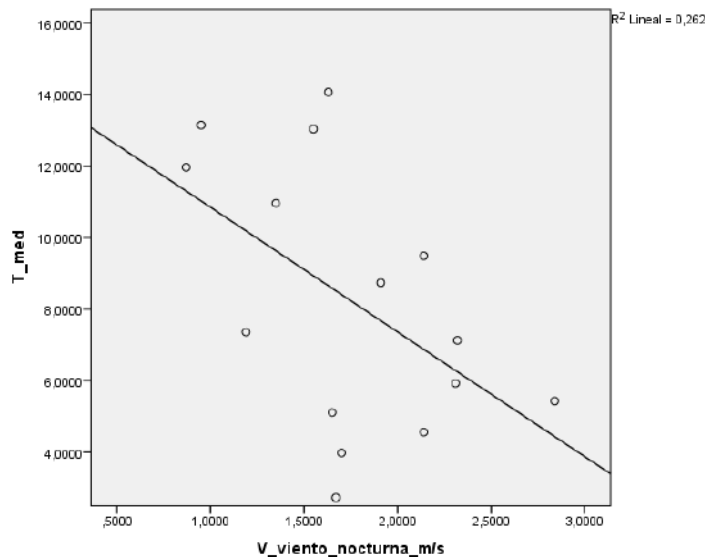


Figura 207. Gráfico de la temperatura media y la velocidad del viento nocturno.

Si la Tolerancia toma un valor próximo a la unidad no existirá colinealidad (a mayor tolerancia menor colinealidad), por lo que se podrá deducir que no existe multicolinealidad entre las variables independientes. Pueden existir problemas de colinealidad si algún FIV es superior a 10, que corresponde con un R^2 de 0,9 y una Tolerancia menor a 0,1

La Tabla 155, muestra los estadísticos de colinealidad y se observa como la Tolerancia toma valores de 0,738, próxima a 1 y los valores de FV permanecen por debajo de 10, por lo que no existen problemas de colinealidad entre la temperatura media y la velocidad del viento nocturna.

Tabla 155. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio D1

Modelo		Tolerancia	FIV
1	T_med	1,000	1,000
2	T_med	,738	1,354
	V_viento_nocturna_m/s	,738	1,354

AIV.1.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se aceptan los modelos de línea base encontrados para modelizar el consumo del Edificio D1.

Modelo 1:

$$\text{kWh}_{D1} = 391.037,854 - 23.838,939 \times T_{med}$$

Modelo 2:

$$\text{kWh}_{D1} = 271.370,906 - 20.045,184 \times T_{med} + 50.568,513 \times V_{viento_nocturna}$$

Con estos modelos se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 156, donde “kWh_D1”, representa el consumo real, “kWh_D1_M1”, el consumo pronosticado con el Modelo 1 y “kWh_D1_M2”, el consumo pronosticado con el Modelo 2.

Tabla 156. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D1.

	T_media	V_viento_nocturna	kWh_D1	kWh_D1_M1	kWh_D1_M2	kWh_D1_M1 - kWh_D1_M2
oct-15	12,82	1,11	34.650	85.453	70.296	15.158
nov-15	8,30	1,12	162.230	193.119	161.642	31.477
dic-15	5,33	0,67	192.680	264.007	198.208	65.799
ene-16	6,23	1,89	182.730	242.437	242.091	346
feb-16	5,82	2,41	292.080	252.386	276.480	-24.094
mar-16	6,14	1,44	195.399	244.598	220.907	23.690
abr-16	9,10	1,18	140.815	174.088	148.786	25.302
may-16	13,11	1,02	50.295	78.409	60.189	18.221
oct-16	13,48	0,67	60.420	69.681	34.978	34.703
nov-16	6,90	1,24	185.097	226.509	195.528	30.981
dic-16	4,12	0,77	232.890	292.775	227.472	65.304
ene-17	2,52	0,74	245.060	331.056	258.111	72.945
feb-17	6,96	2,27	181.458	225.127	246.474	-21.346
mar-17	9,21	1,62	144.074	171.497	168.868	2.628
abr-17	12,58	1,69	56.590	91.216	104.909	-13.693
may-17	16,69	1,16	38.400	-6.757	-4.524	-2.233
oct-17	14,71	1,21	43.056	40.336	37.640	2.696
nov-17	6,09	0,69	160.774	245.851	183.974	61.876
dic-17	3,99	1,66	251.172	295.890	275.374	20.516
ene-18	4,42	1,58	242.664	285.654	262.608	23.047
feb-18	3,53	1,37	246.178	306.920	269.847	37.074
mar-18	6,80	2,99	208.040	228.872	286.359	-57.487
abr-18	11,15	1,63	132.930	125.321	130.131	-4.810
may-18	14,03	1,35	53.590	56.631	58.417	-1.786

El dato del consumo de mayo de 2017, no será tenido en cuenta puesto que la estimación arroja valores negativos para ambos modelos.

AIV.1.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando el contraste de hipótesis para la comparación de medias para muestras relacionadas, es decir la prueba paramétrica “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas. En caso contrario no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyendo que las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas y no van más allá de lo que sería esperable por azar, todo ello con la aceptación de un riesgo de error del 5%, o lo que es lo mismo un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 157

Tabla 157. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,194	8	,200*	,930	8	,513
kWh_pronost_M1	,252	8	,144	,839	8	,073
kWh_pronost_M2	,155	8	,200*	,943	8	,636

En la Tabla 158, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D1, un 22,7 % superiores con la estimación del Modelo 1 y un 10,2 % superior con la estimación del Modelo 2

Tabla 158. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D1

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	kWh_real	156359,8750		8	83064,25522	29367,64907
	kWh_pronost_M1	191812,1250	22,7%	8	74372,52338	26294,65781
Par 2	kWh_real	156359,8750		8	83064,25522	29367,64907
	kWh_pronost_M2	172324,8750	10,2%	8	77826,09693	27515,68045

La Tabla 159 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 (Regresión lineal simple) (sig ≤ 0,05), pero no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 2 (Regresión lineal múltiple) (sig >0,05)

Tabla 159. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D1

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-35452,25	33861,67	11971,91	-63761,32	-7143,18	-2,961	7	,021
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-15965,00	23426,68	8282,58	-35550,20	3620,20	-1,928	7	,095

En la Figura 208, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D1, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada únicamente es estadísticamente significativa la diferencia encontrada entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1, esta diferencia implica que utilizando la línea base establecida en el Modelo 1, se ha logrado un ahorro del 22,7 % con la implantación de la red de calor, durante la temporada octubre 2015 – mayo 2016, para un nivel de confianza del 95 %.

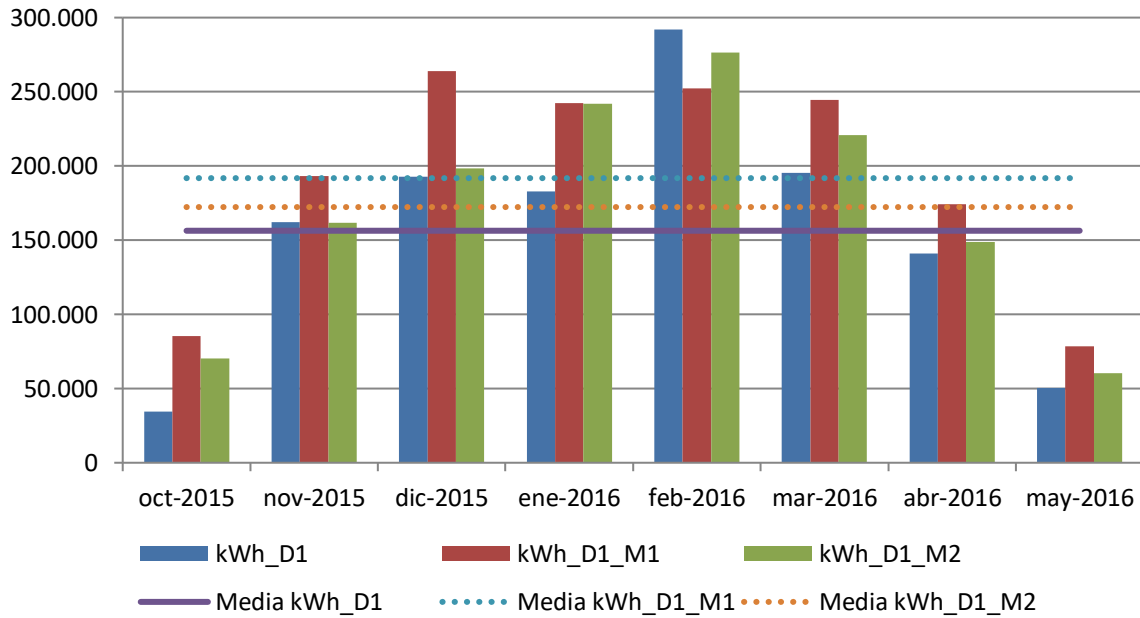


Figura 208. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D1

Para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 160

Tabla 160. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,193	7	,200*	,893	7	,293
kWh_pronost_M1	,169	7	,200*	,946	7	,695
kWh_pronost_M2	,176	7	,200*	,911	7	,400

En la Tabla 161, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D1, un 27,3 % superiores con la estimación del Modelo 1 y un 11,8 % superior con la estimación del Modelo 2

Tabla 161. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D1

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	kWh_real	157941,2857		7	75798,23516	28649,04001
	kWh_pronost_M1	201123,0000	27,3%	7	97243,30525	36754,51462
Par 2	kWh_real	157941,2857		7	75798,23516	28649,04001
	kWh_pronost_M2	176620,0000	11,8%	7	81372,41543	30755,88211

La Tabla 162, muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 (Regresión lineal simple) ($\text{sig} \leq 0,05$), pero no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 2 (Regresión lineal múltiple) ($\text{sig} > 0,05$)

Tabla 162. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D1

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-43181,71	24452,62	9242,22	-65796,62	-20566,81	-4,672	6	,003
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-18678,71	30795,22	11639,50	-47159,54	9802,11	-1,605	6	,160

En la Figura 209, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017 para el Edificio D1, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada únicamente es estadísticamente significativa la diferencia encontrada entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1, esta diferencia implica que utilizando la línea base establecida en el Modelo 1, se ha logrado un ahorro del 27,3 % con la implantación de la red de calor, durante la temporada octubre 2016 – abril 2017, para un nivel de confianza del 95 %.

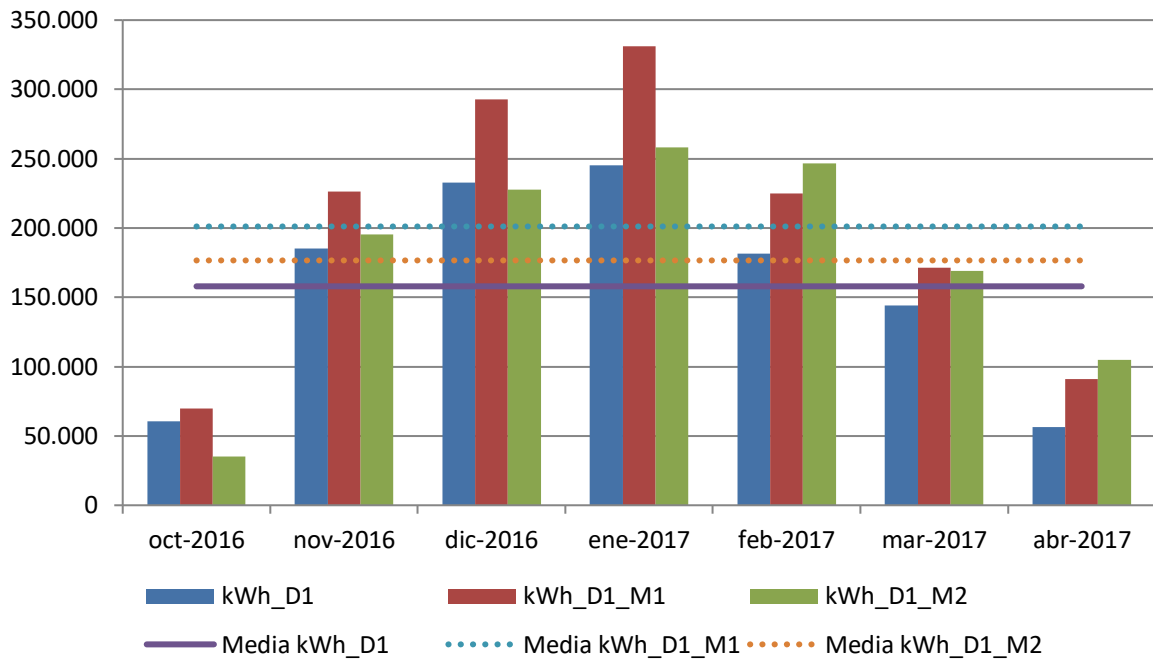


Figura 209. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D1

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 163

Tabla 163. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,188	8	,200*	,868	8	,144
kWh_pronost_M1	,236	8	,200*	,858	8	,114
kWh_pronost_M2	,268	8	,093	,850	8	,096

En la Tabla 164 se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D1, un 18,5 % superiores con la estimación del Modelo 1 y un 12,4 % superior con la estimación del Modelo 2

Tabla 164. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D1

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	kWh_real	167300,5000		8	84672,60695	29936,28728
	kWh_pronost_M1	198184,3750	18,5%	8	108560,14590	38381,80767
Par 2	kWh_real	167300,5000		8	84672,60695	29936,28728
	kWh_pronost_M2	188043,7500	12,4%	8	101656,91027	35941,14530

La Tabla 165 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 (Regresión lineal simple) ($\text{sig} \leq 0,05$), pero no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 2 (Regresión lineal múltiple) ($\text{sig} > 0,05$)

Tabla 165. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D1

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-30883,87	33066,02	11690,60	-58527,76	-3239,99	-2,642	7	,033
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-20743,25	26278,82	9290,97	-42712,90	1226,39	-2,233	7	,061

En la Figura 210 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D1, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada únicamente es estadísticamente significativa la diferencia encontrada entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1, para un nivel de confianza del 95 %.

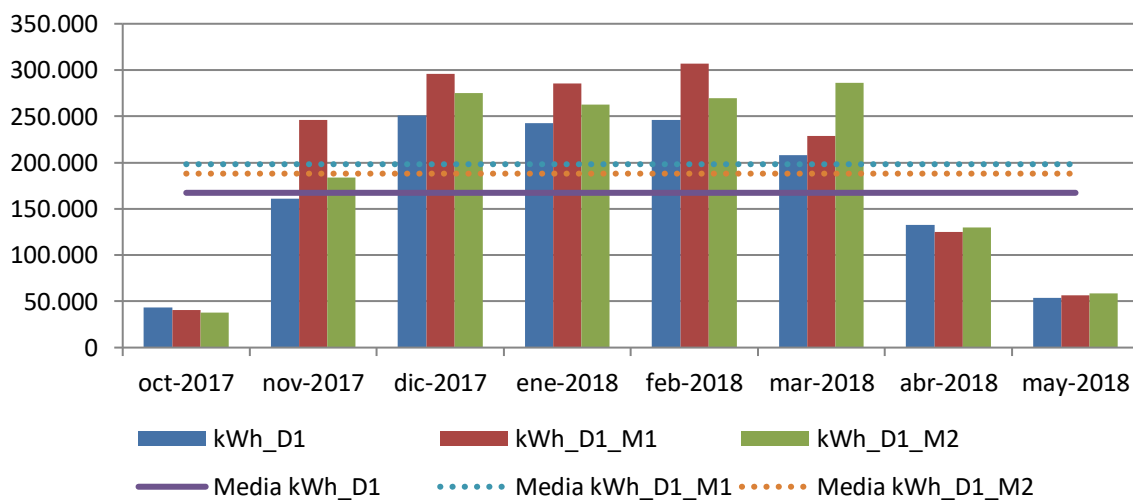


Figura 210. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D1

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, los valores reales como los pronosticados con el Modelo M1 se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig >0,05, sin embargo, los valores de los consumos pronosticados con el Modelo 2, rechazan la hipótesis nula de normalidad, (Sig ≤ 0,05), como se observa en la Tabla 166

Tabla 166. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,162	23	,122	,923	23	,076
kWh_pronost_M1	,188	23	,033	,920	23	,065
kWh_pronost_M2	,125	23	,200	,911	23	,042

En la Tabla 167, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D1, un 22,5 % superiores con la estimación del Modelo 1 y un 11,5 % superior con la estimación del Modelo 2

Tabla 167. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 kWh_real	160646,6087		23	77901,01966	16243,48547
kWh_pronost_M1	196862,3043	22,5%	23	90024,92009	18771,49346
Par 2 kWh_real	160646,6087		23	77901,01966	16243,48547
kWh_pronost_M2	179099,5217	11,5%	23	84076,86364	17531,23796

La Tabla 168 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 (Regresión lineal simple) (sig ≤ 0,05), y también lo serían entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 2 (Regresión lineal múltiple) si el supuesto de Normalidad en estas variables se hubiera cumplido, al no cumplirse, la prueba paramétrica no resulta válida para este Modelo.

Tabla 168. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-36215,69	30029,66	6261,62	-49201,49	-23229,89	-5,784	22	,000
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-18452,91	25635,21	5345,31	-29538,41	-7367,41	-3,452	22	,002

AIV.1.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 169, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo 1, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 169. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D1.

	kWh_D1 Gas Natural	kWh_D1 Biomasa	kWh_D1 Real Total	kWh_D1_ M1 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	34.650	34.650	85.453	0	832	832	21.534	20.703	20.703
nov-2015	0	162.230	162.230	193.119	0	3.894	3.894	48.666	44.772	65.475
dic-2015	0	192.680	192.680	264.007	0	4.624	4.624	66.530	61.905	127.381
ene-2016	0	182.730	182.730	242.437	0	4.386	4.386	61.094	56.709	184.089
feb-2016	86.660	205.420	292.080	252.386	21.838	4.930	26.768	63.601	36.833	220.922
mar-2016	12.299	183.100	195.399	244.598	3.099	4.394	7.494	61.639	54.145	275.067
abr-2016	325	140.490	140.815	174.088	82	3.372	3.454	43.870	40.416	315.483
may-2016	195	50.100	50.295	78.409	49	1.202	1.251	19.759	18.508	333.991
oct-2016	23.450	36.970	60.420	69.681	5.910	887	6.797	17.560	10.763	344.754
nov-2016	9.577	175.520	185.097	226.509	2.413	4.212	6.626	57.080	50.455	395.208
dic-2016	2.480	230.410	232.890	292.775	625	5.530	6.155	73.779	67.625	462.833
ene-2017	3.600	241.460	245.060	331.056	907	5.795	6.702	83.426	76.724	539.557
feb-2017	88	181.370	181.458	225.127	22	4.353	4.375	56.732	52.357	591.914
mar-2017	1.184	142.890	144.074	171.497	298	3.429	3.728	43.217	39.489	631.403
abr-2017	360	56.230	56.590	91.216	91	1.350	1.440	22.986	21.546	652.949
oct-2017	15.266	27.790	43.056	40.336	3.847	667	4.514	10.165	5.651	658.600
nov-2017	544	160.230	160.774	245.851	137	3.846	3.983	61.954	57.972	716.572
dic-2017	1.872	249.300	251.172	295.890	472	5.983	6.455	74.564	68.109	784.681
ene-2018	1.064	241.600	242.664	285.654	268	5.798	6.067	71.985	65.918	850.599
feb-2018	848	245.330	246.178	306.920	214	5.888	6.102	77.344	71.242	921.842
mar-2018	0	208.040	208.040	228.872	0	4.993	4.993	57.676	52.683	974.524
abr-2018	0	132.930	132.930	125.321	0	3.190	3.190	31.581	28.391	1.002.915
may-2018	0	53.590	53.590	56.631	0	1.286	1.286	14.271	12.985	1.015.900

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 1.016 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio D1.

AIV.1.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 170 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 171, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 170. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,0400			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,0338			

Tabla 171. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D1

	kWh_D1 Gas Natural	kWh_D1 Biomasa	kWh_D1	kWh_D1 M1	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	34.650	34.650	85.453	0	1.171	1.171	3.187	2.016	2.016
nov-2015	0	162.230	162.230	193.119	0	5.483	5.483	7.203	1.720	3.736
dic-2015	0	192.680	192.680	264.007	0	6.513	6.513	9.847	3.335	7.071
ene-2016	0	182.730	182.730	242.437	0	6.176	6.176	7.419	1.242	8.313
feb-2016	86.660	205.420	292.080	252.386	2.652	6.943	9.595	7.723	-1.872	6.441
mar-2016	12.299	183.100	195.399	244.598	376	6.189	6.565	7.485	920	7.361
abr-2016	325	140.490	140.815	174.088	10	4.749	4.758	5.327	569	7.930
may-2016	195	50.100	50.295	78.409	6	1.693	1.699	2.399	700	8.630
oct-2016	23.450	36.970	60.420	69.681	718	1.250	1.967	2.132	165	8.795
nov-2016	9.577	175.520	185.097	226.509	293	5.933	6.226	6.931	706	9.500
dic-2016	2.480	230.410	232.890	292.775	76	7.788	7.864	8.959	1.095	10.595
ene-2017	3.600	241.460	245.060	331.056	113	8.161	8.274	10.395	2.121	12.716
feb-2017	88	181.370	181.458	225.127	3	6.130	6.133	7.069	936	13.652
mar-2017	1.184	142.890	144.074	171.497	37	4.830	4.867	5.385	518	14.170
abr-2017	360	56.230	56.590	91.216	11	1.901	1.912	2.864	952	15.122
oct-2017	15.266	27.790	43.056	40.336	479	939	1.419	1.267	-152	14.970
nov-2017	544	160.230	160.774	245.851	17	5.416	5.433	7.720	2.287	17.257
dic-2017	1.872	249.300	251.172	295.890	59	8.426	8.485	9.291	806	18.063
ene-2018	1.064	241.600	242.664	285.654	36	8.166	8.202	9.598	1.396	19.459
feb-2018	848	245.330	246.178	306.920	28	8.292	8.321	10.313	1.992	21.451
mar-2018	0	208.040	208.040	228.872	0	7.032	7.032	7.690	658	22.109
abr-2018	0	132.930	132.930	125.321	0	4.493	4.493	4.211	-282	21.827
may-2018	0	53.590	53.590	56.631	0	1.811	1.811	1.903	91	21.919
€ Total							124.399	146.318		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.2.Edificio D2. Biblioteca de los Apartamentos Cardenal Mendoza.

AIV.2.1.Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 172.

Tabla 172. Consumos térmicos del edificio D2

Consumos térmicos (kWh). D2	
oct-12	2.973
nov-12	8.215
dic-12	11.245
ene-13	12.064
feb-13	11.615
mar-13	9.500
abr-13	6.534
may-13	5.196
oct-13	3.398
nov-13	8.280
dic-13	14.205
ene-14	11.133
feb-14	9.351
mar-14	6.636
abr-14	3.899
may-14	3.318
Promedio	7.973
Total (oct-12-may-13)	67.342
Total (oct-13-may-14)	60.220
Total (oct-12-may-13)	127.562

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 173 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 15, obtenidos con datos cada 30 minutos). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 15 por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 174 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 173. Modelos de regresión del Edificio D2

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-663,338	436,194	-1,521	,151	-1598,880	272,204
GD15_30min	38,971	1,832	21,270	,000	35,041	42,900

En la Figura 211 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

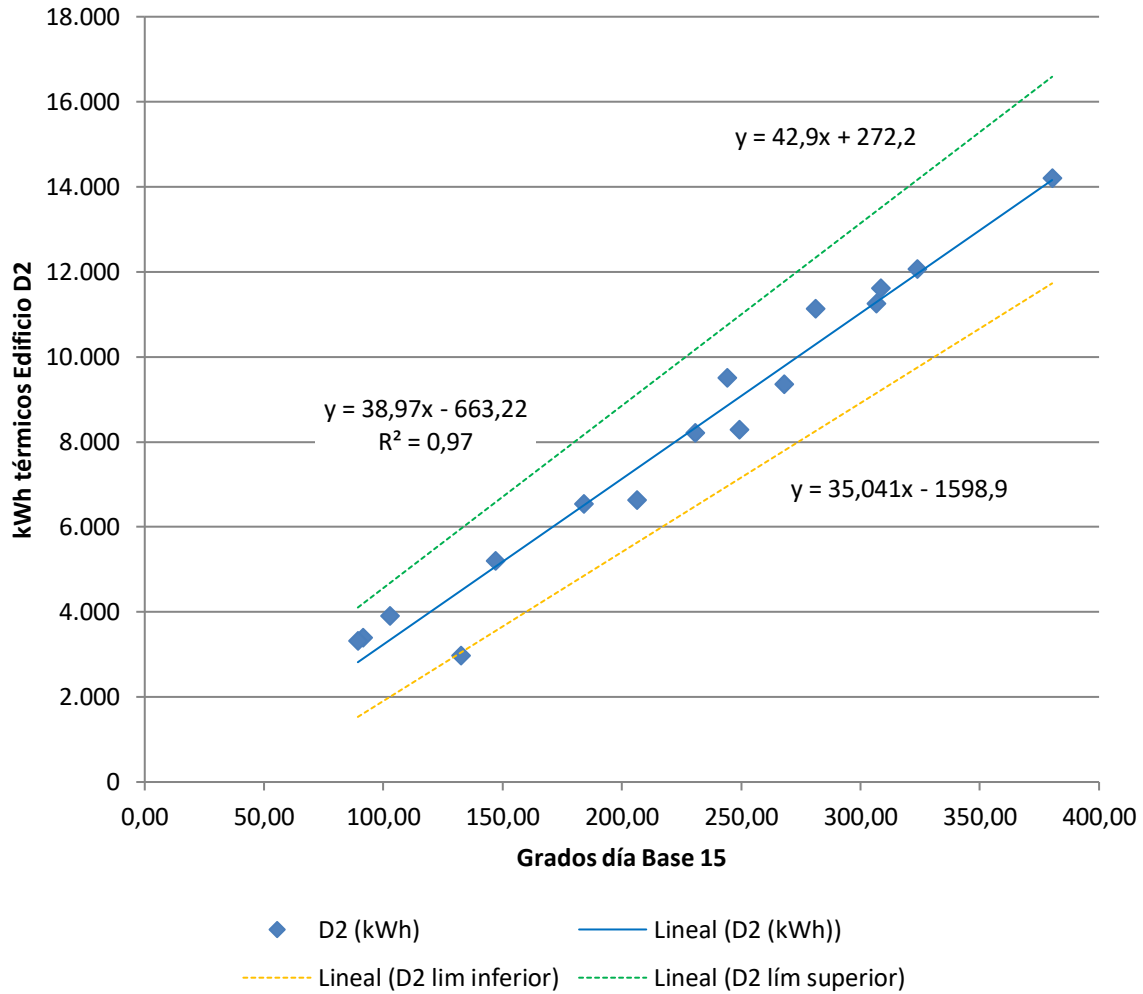


Figura 211. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D2

Tabla 174. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D2

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	,040	,969	,011
	GD15_24h	-,573	,576	-,157
	GD20_24h	-,042	,967	-,012
	T_med_30min_C	,405	,692	,112
	T_media_diurna_C	,093	,928	,026
	T_max_C	-,299	,770	-,083
	T_min_C	,800	,438	,217
	HR_%	,199	,846	,055
	HR_med_diurna_%	,144	,888	,040
1	HR_max_%	,340	,739	,094
	HR_min_%	,315	,758	,087
	Radiación_W/m2	,643	,531	,176
	V_Viento_m/s	,838	,417	,226
	V_viento_diurna_m/s	,731	,478	,199
	V_viento_nocturna_m/s	,973	,348	,261
	V_viento_max_m/s	,619	,547	,169
	Recorrido_viento_km/día	,839	,417	,227
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,054	,958	-,015
	Horas insolación_h	,420	,681	,116

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D2, se resumen en la Tabla 175

Tabla 175. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D2

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,985 ^a	,970	,968	637,71116

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,985, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 97,0% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 638 kWh, lo que representa un 8,0% del promedio de los consumos que fue de 7.973 kWh.

AIV.2.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 173, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D2) y la independiente (GD15_30min). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 15.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 176, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15 poseen una Sig $>0,05$, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 176. Prueba de normalidad para el edificio D2

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D2	,125	16	,200*	,943	16	,383
GD15_30min	,109	16	,200*	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo $[dU, 4-dU]$, de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,583.

En el modelo, $n = 16$ y $k = 1$, según la Tabla 3 el valor $dU = 1,371$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,371, 2,629]$, como el valor del estadístico 1,583 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 212 y Figura 213, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación $= 3,33 \times 10^{-16}$, cercano a cero y entre la variable independiente (Grados día base 15) y los residuos un coeficiente de determinación de $-1,11 \times 10^{-16}$, también prácticamente nulo; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

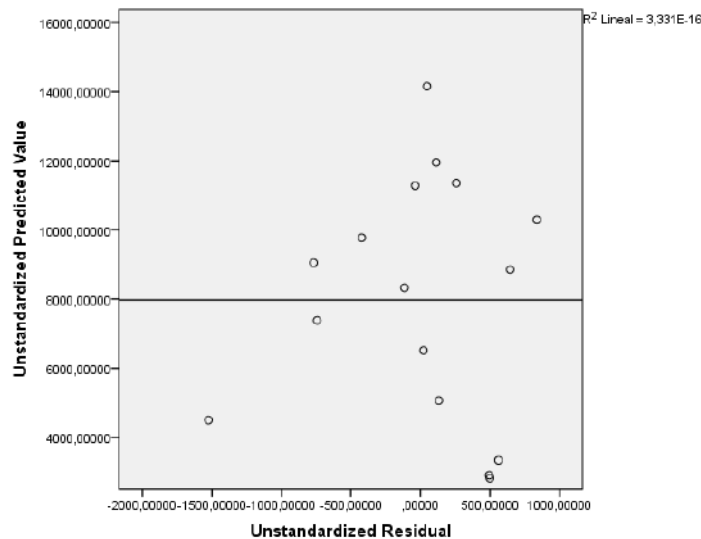


Figura 212. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D2

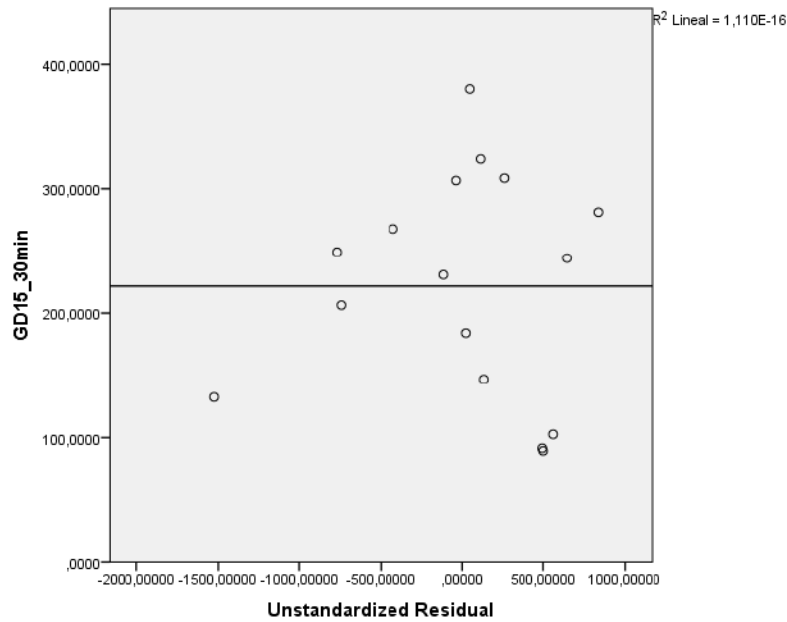


Figura 213. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D2

AIV.2.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D2.

$$\text{kWh}_{D2_Pronosticado} = -663,338 + 38,971 \times \text{GD15}_{30\text{min}}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 177, donde “KWh_D2_Real”, representa el consumo real, “kWh_D2_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 177. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D2.

	GD15	kWh_D2_Real	kWh_D2_Pronosticado
oct-15	97,04	810	3.119
nov-15	208,36	2.643	7.457
dic-15	300,09	11.959	11.032
ene-16	271,93	6.666	9.934
feb-16	266,36	12.459	9.717
mar-16	276,34	5.239	10.106
abr-16	181,04	3.941	6.392
may-16	99,34	405	3.208
oct-16	97,34	165	3.130
nov-16	245,69	5.063	8.911
dic-16	337,25	7.397	12.480
ene-17	386,98	7.617	14.418
feb-17	226,76	6.987	8.174
mar-17	203,17	7.621	7.254
abr-17	129,72	3.584	4.392
may-17	54,86	1.566	1.475
oct-17	92,31	10	2.934
nov-17	271,60	4.213	9.921
dic-17	341,26	10.407	12.636
ene-18	327,94	9.738	12.117
feb-18	321,27	10.737	11.857
mar-18	255,02	7.939	9.275
abr-18	143,31	5.172	4.921
may-18	78,41	7	2.392

AIV.2.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 178

Tabla 178. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,168	8	,200	,896	8	,266
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,136

En la Tabla 179, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D2, en un 38,2 %

Tabla 179. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D2

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	5515,2500		8	4630,95537	1637,28997
kWh_pronosticado	7620,6250	38,2%	8	3135,81249	1108,67714

La Tabla 180 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig >0,05), a pesar de existir ese 38% de diferencia

Tabla 180. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D2

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Diferencias relacionadas		t	gl	Sig. (bilateral)
				95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-2105,375	2663,372	941,644	-4332,010	121,260	-2,236	7	,060

En la Figura 214, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D2, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

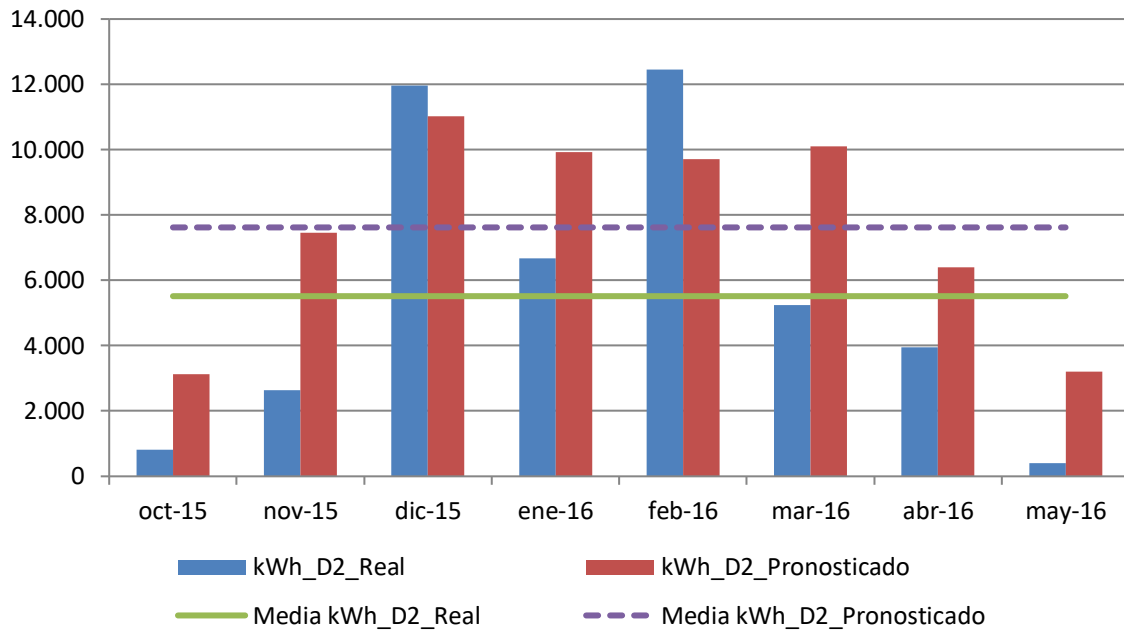


Figura 214. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D2

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 181

Tabla 181. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,250	8	,149	,856	8	,109
kWh_pronosticado	,133	8	,200*	,965	8	,856

En la Tabla 182, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D2, en un 50,6 %

Tabla 182. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D2

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	5000,0000		8	2942,07687	1040,18125
kWh_pronosticado	7529,2500	50,6%	8	4475,57150	1582,35348

La Tabla 183 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig ≤ 0,05)

Tabla 183. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D2

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-2529,250	2583,375	913,361	-4689,005	-369,495	-2,769	7	,028

En la Figura 215, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio D2, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

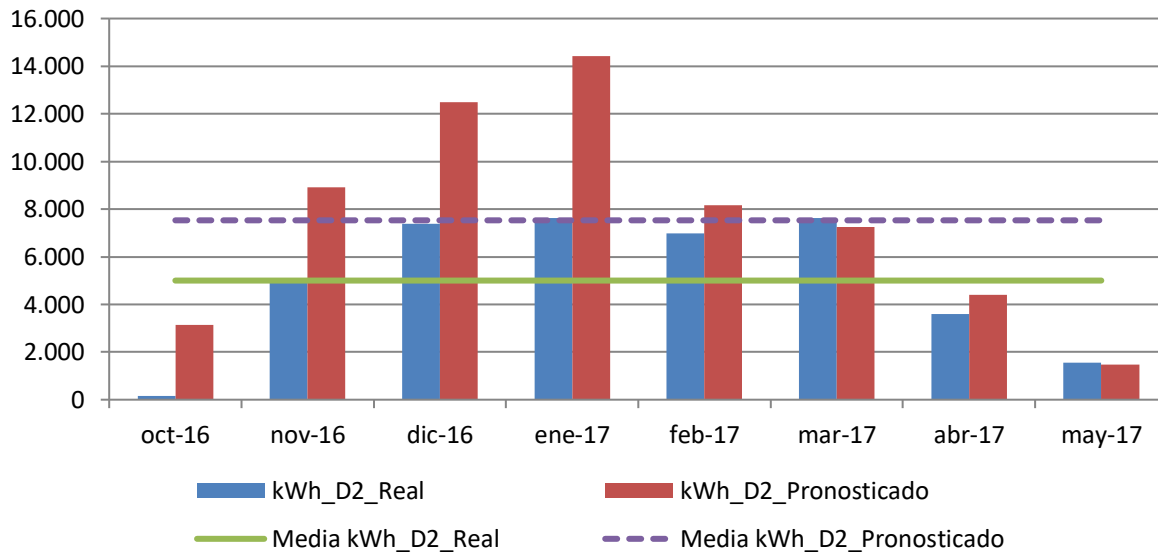


Figura 215. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D2

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 184

Tabla 184. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,176	8	,200	,879	8	,185
kWh_pronosticado	,220	8	,200*	,860	8	,119

En la Tabla 185, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D2, en un 37,0 %

Tabla 185. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D2

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	6027,8750		8	4395,81081	1554,15382
kWh_pronosticado	8256,6250	37,0%	8	4220,72962	1492,25327

La Tabla 186 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 186. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D2

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-2228,750	1724,240	609,611	-3670,251	-787,249	-3,656	7	,008

En la Figura 216, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D2, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

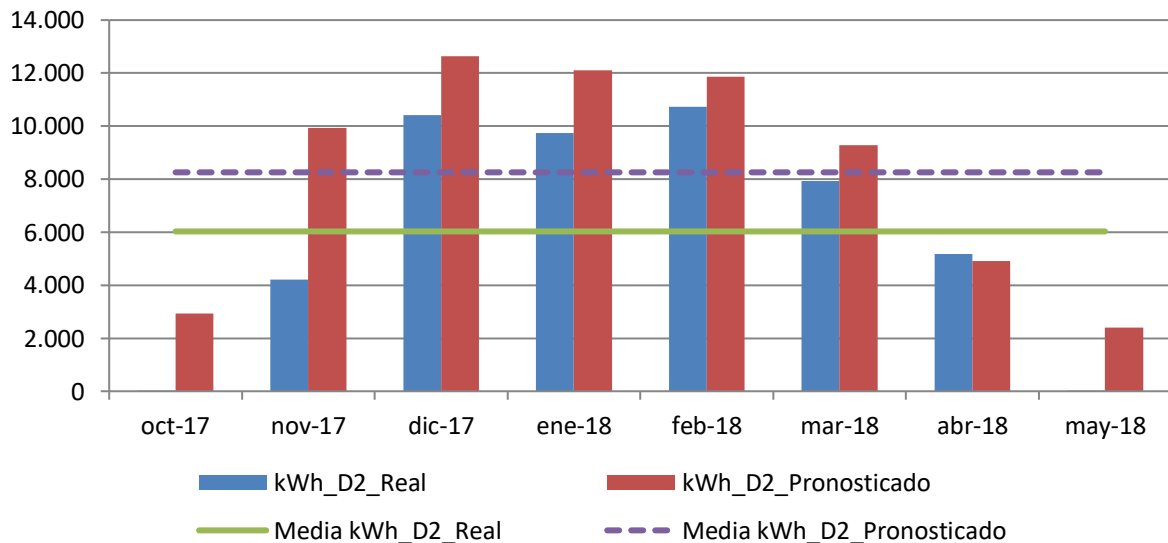


Figura 216. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D2

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 187

Tabla 187. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,094	24	,200	,947	24	,239
kWh_pronosticado	,135	24	,200	,942	24	,183

En la Tabla 188 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D2, en un 41,5 %

Tabla 188. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	5514,3750		24	3902,05706	796,50406
kWh_pronosticado	7802,1667	41,5%	24	3823,62290	780,49376

La Tabla 189 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig ≤ 0,05)

Tabla 189. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-2287,792	2264,501	462,239	-3244,006	-1331,577	-4,949	23	,000

AIV.2.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 190, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 190. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D2.

	kWh_D2 Gas Natural	kWh_D2 Biomasa	kWh_D2 Real Total	kWh_D2 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	810	810	3.119	0	19	19	786	766	766
nov-2015	0	2.643	2.643	7.457	0	63	63	1.879	1.816	2.582
dic-2015	0	11.959	11.959	11.032	0	287	287	2.780	2.493	5.075
ene-2016	0	6.666	6.666	9.934	0	160	160	2.503	2.343	7.418
feb-2016	7.347	5.112	12.459	9.717	1.851	123	1.974	2.449	475	7.893
mar-2016	24	5.215	5.239	10.106	6	125	131	2.547	2.415	10.308
abr-2016	422	3.519	3.941	6.392	106	84	191	1.611	1.420	11.728
may-2016	0	405	405	3.208	0	10	10	808	799	12.527
oct-2016	160	5	165	3.130	40	0	40	789	748	13.275
nov-2016	672	4.391	5.063	8.911	169	105	275	2.246	1.971	15.246
dic-2016	760	6.637	7.397	12.480	192	159	351	3.145	2.794	18.040
ene-2017	0	7.617	7.617	14.418	0	183	183	3.633	3.450	21.491
feb-2017	584	6.403	6.987	8.174	147	154	301	2.060	1.759	23.250
mar-2017	448	7.173	7.621	7.254	113	172	285	1.828	1.543	24.793
abr-2017	0	3.584	3.584	4.392	0	86	86	1.107	1.021	25.814
may-2017	1.544	22	1.566	1.475	389	1	390	372	-18	25.796
oct-2017	8	2	10	2.934	2	0	2	739	737	26.533
nov-2017	40	4.173	4.213	9.921	10	100	110	2.500	2.390	28.923
dic-2017	0	10.407	10.407	12.636	0	250	250	3.184	2.934	31.857
ene-2018	0	9.738	9.738	12.117	0	234	234	3.053	2.820	34.677
feb-2018	0	10.737	10.737	11.857	0	258	258	2.988	2.730	37.407
mar-2018	0	7.939	7.939	9.275	0	191	191	2.337	2.147	39.554
abr-2018	0	5.172	5.172	4.921	0	124	124	1.240	1.116	40.670
may-2018	0	7	7	2.392	0	0	0	603	603	41.273

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 41 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio D2.

AIV.2.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 191 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 192, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 191. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,04715			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,03961			

Tabla 192. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D2

	kWh_D2 _Gas Natural	kWh_D2_ Biomasa	kWh_D2 Real	kWh_D2 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	810	810	3.119	0	32	32	116	84	84
nov-2015	0	2.643	2.643	7.457	0	105	105	278	173	258
dic-2015	0	11.959	11.959	11.032	0	474	474	411	-62	195
ene-2016	0	6.666	6.666	9.934	0	264	264	304	40	235
feb-2016	7.347	5.112	12.459	9.717	225	202	427	297	-130	105
mar-2016	24	5.215	5.239	10.106	1	207	207	309	102	207
abr-2016	422	3.519	3.941	6.392	13	139	152	196	43	251
may-2016	0	405	405	3.208	0	16	16	98	82	333
oct-2016	160	5	165	3.130	5	0	5	96	91	423
nov-2016	672	4.391	5.063	8.911	21	174	194	273	78	502
dic-2016	760	6.637	7.397	12.480	23	263	286	382	96	597
ene-2017	0	7.617	7.617	14.418	0	302	302	453	151	748
feb-2017	584	6.403	6.987	8.174	18	254	272	257	-15	733
mar-2017	448	7.173	7.621	7.254	14	284	298	228	-70	663
abr-2017	0	3.584	3.584	4.392	0	142	142	138	-4	659
may-2017	1.544	22	1.566	1.475	48	1	49	46	-3	656
oct-2017	8	2	10	2.934	0	0	0	92	92	747
nov-2017	40	4.173	4.213	9.921	1	165	167	312	145	892
dic-2017	0	10.407	10.407	12.636	0	412	412	397	-15	877
ene-2018	0	9.738	9.738	12.117	0	386	386	407	21	898
feb-2018	0	10.737	10.737	11.857	0	425	425	398	-27	871
mar-2018	0	7.939	7.939	9.275	0	314	314	312	-3	869
abr-2018	0	5.172	5.172	4.921	0	205	205	165	-40	829
may-2018	0	7	7	2.392	0	0	0	80	80	909
€ Total							5.136	6.045		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.3.Edificio D3. Centro de Transferencia de Tecnologías aplicadas. CTTA.

AIV.3.1.Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 193

Tabla 193. Consumos térmicos del edificio D3

Consumos térmicos (kWh). D3	
oct-12	15.679
nov-12	34.701
dic-12	47.474
ene-13	61.790
feb-13	51.895
mar-13	35.453
abr-13	33.758
may-13	16.401
oct-13	9.887
nov-13	32.104
dic-13	64.828
ene-14	59.681
feb-14	53.522
mar-14	20.039
abr-14	25.860
may-14	9.813
Promedio	35.805
Total (oct-12-may-13)	297.151
Total (oct-13-may-14)	275.734
Total (oct-12-may-13)	572.885

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 194 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 15, obtenidos con datos cada 30 minutos). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 15 por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 195 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 194. Modelos de regresión del Edificio D3

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-6854,944	5178,244	-1,324	,207	-17961,172	4251,284
GD15_30min	192,510	21,751	8,851	,000	145,859	239,161

En la Figura 217 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

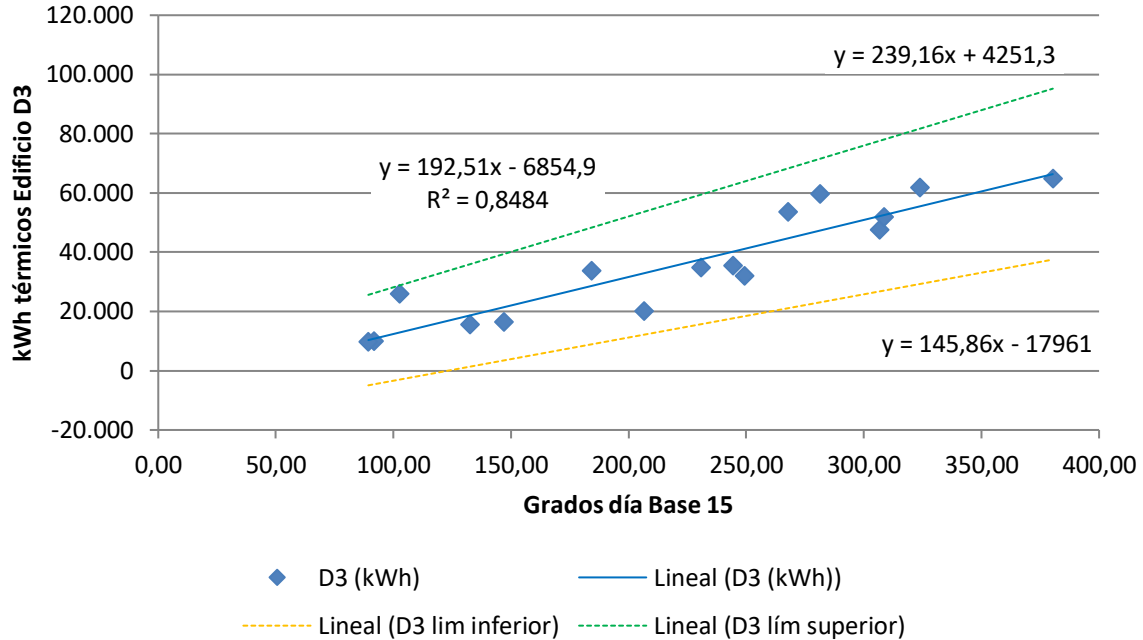


Figura 217. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D3

Tabla 195. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D3

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	-1,245	,235	-,326
	GD15_24h	-,750	,466	-,204
	GD20_24h	-1,278	,224	-,334
	T_med_30min_C	,006	,995	,002
	T_media_diurna_C	-,712	,489	-,194
	T_max_C	-,951	,359	-,255
	T_min_C	,872	,399	,235
	HR_%	,797	,440	,216
	HR_med_diurna_%	,878	,396	,237
1	HR_max_%	,527	,607	,145
	HR_min_%	,992	,339	,265
	Radiación_W/m2	-,230	,822	-,064
	V_Viento_m/s	1,493	,159	,383
	V_viento_diurna_m/s	1,325	,208	,345
	V_viento_nocturna_m/s	1,705	,112	,428
	V_viento_max_m/s	1,097	,293	,291
	Recorrido_viento_km/día	1,493	,159	,383
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,032	,975	-,009
	Horas insolación_h	-,512	,618	-,140

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D3, se resumen en la Tabla 196

Tabla 196. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D3

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,921	,848	,838	7570,62826

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,921, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 84,8% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 7.570 kWh, lo que representa un 21,1% del promedio de los consumos que fue de 35.805 kWh.

AIV.3.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 194, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D3) y la independiente (GD15_30min). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 15.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 197, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15 poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 197. Prueba de normalidad para el edificio D3

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D3	,132	16	,200*	,931	16	,251
GD15_30min	,109	16	,200*	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 2,559.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629], como el valor del estadístico 2,559 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 218 y Figura 219, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Grados Día Base 15) y los residuos un coeficiente de determinación de $3,331 \times 10^{-16}$, también prácticamente nulo; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

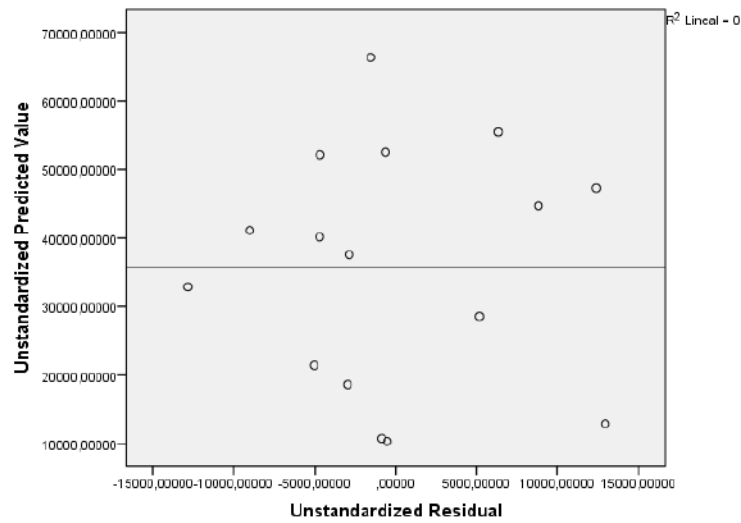


Figura 218. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D3

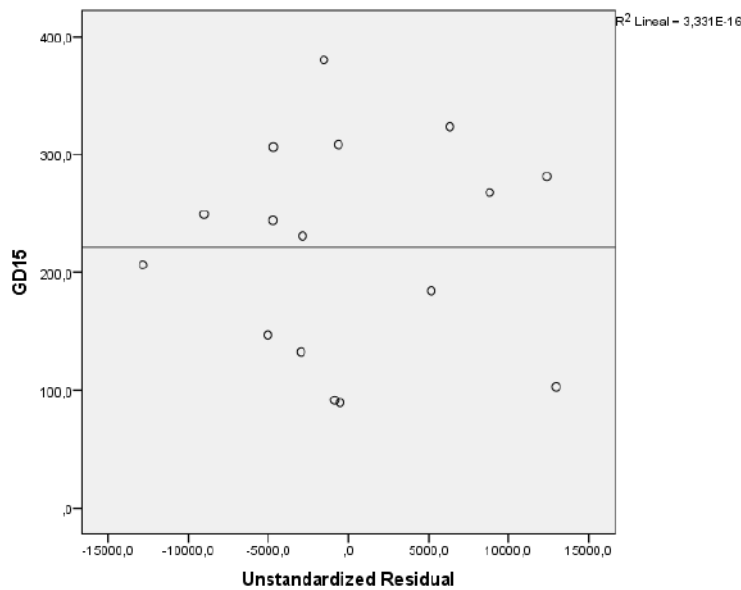


Figura 219. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D3

AIV.3.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D3.

$$\text{kWh_D3_Pronosticado} = -6854,944 + 192,51 \times \text{GD15_30min}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 198, donde “kWh_D3_Real”, representa el consumo real, “kWh_D3_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 198. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D3.

	GD15	kWh_D3_Real	kWh_D3_Pronosticado
oct-15	97,04	0	11.827
nov-15	208,36	28.683	33.257
dic-15	300,09	50.191	50.916
ene-16	271,93	38.231	45.495
feb-16	266,36	68.430	44.423
mar-16	276,34	41.775	46.343
abr-16	181,04	24.655	27.998
may-16	99,34	7.268	12.268
oct-16	97,34	3.711	11.883
nov-16	245,69	35.452	40.443
dic-16	337,25	45.615	58.069
ene-17	386,98	47.454	67.643
feb-17	226,76	33.104	36.799
mar-17	203,17	26.179	32.257
abr-17	129,72	16.672	18.118
may-17	54,86	12.122	3.706
oct-17	92,31	4.697	10.917
nov-17	271,60	37.870	45.431
dic-17	341,26	48.468	58.840
ene-18	327,94	48.828	56.277
feb-18	321,27	48.728	54.992
mar-18	255,02	28.432	42.239
abr-18	143,31	19.765	20.733
may-18	78,41	13.337	2.392

AIV.3.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 199

Tabla 199. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D3

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,120	8	,200	,981	8	,966
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,135

En la Tabla 200, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D3, en un 5,1 %

Tabla 200. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D3

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	32404,1250		8	22334,31111	7896,37142
kWh_pronosticado	34065,8750	5,1%	8	15490,72418	5476,79806

La Tabla 201 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $>0,05$), a pesar de existir ese 5,1% de diferencia

Tabla 201. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D3

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Diferencias relacionadas		t	gl	Sig. (bilateral)
				95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-1661,750	10858,688	3839,126	-10739,840	7416,340	-,433	7	,678

En la Figura 220, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D3, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

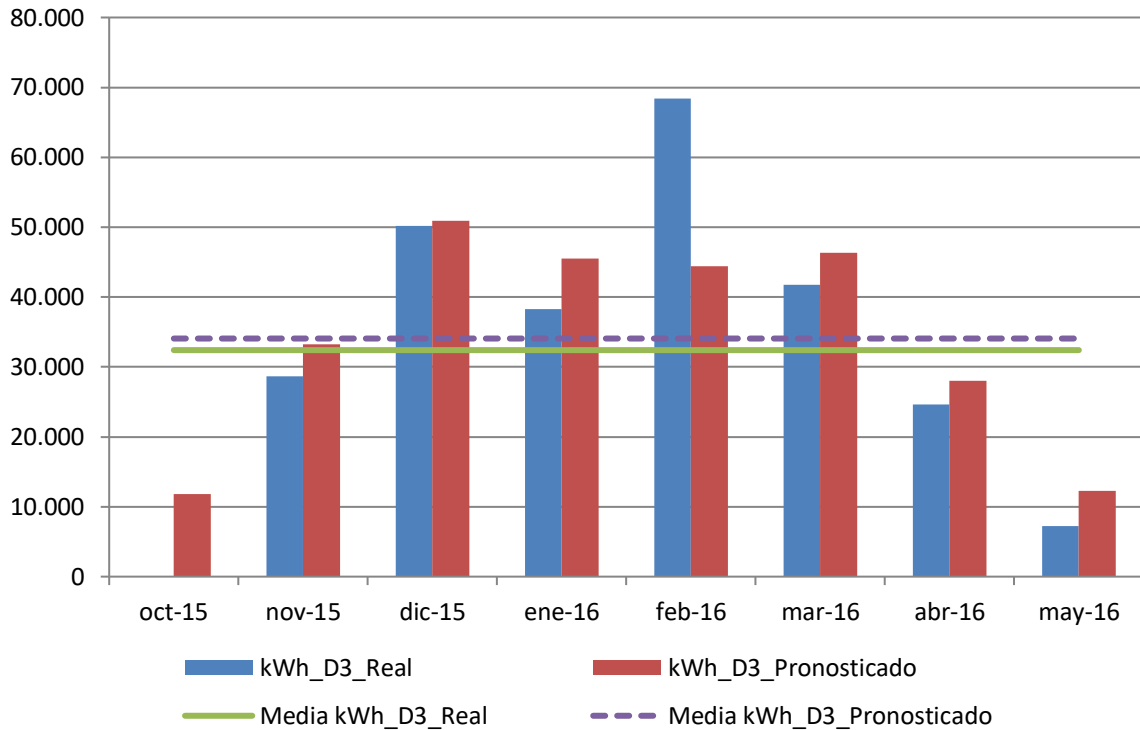


Figura 220. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D3

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 202

Tabla 202. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D3

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,138	8	,200	,953	8	,738
kWh_pronosticado	,133	8	,200	,965	8	,856

En la Tabla 203, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D3, en un 22,1 %

Tabla 203. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D3

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	27538,6250		8	15776,71230	5577,91012
kWh_pronosticado	33614,7500	22,1%	8	22108,47161	7816,52510

La Tabla 204 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese 22,1% de diferencia

Tabla 204. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D3

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-6076,125	8302,755	2935,467	-13017,402	865,152	-2,070	7	,077

En la Figura 221, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio D3, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

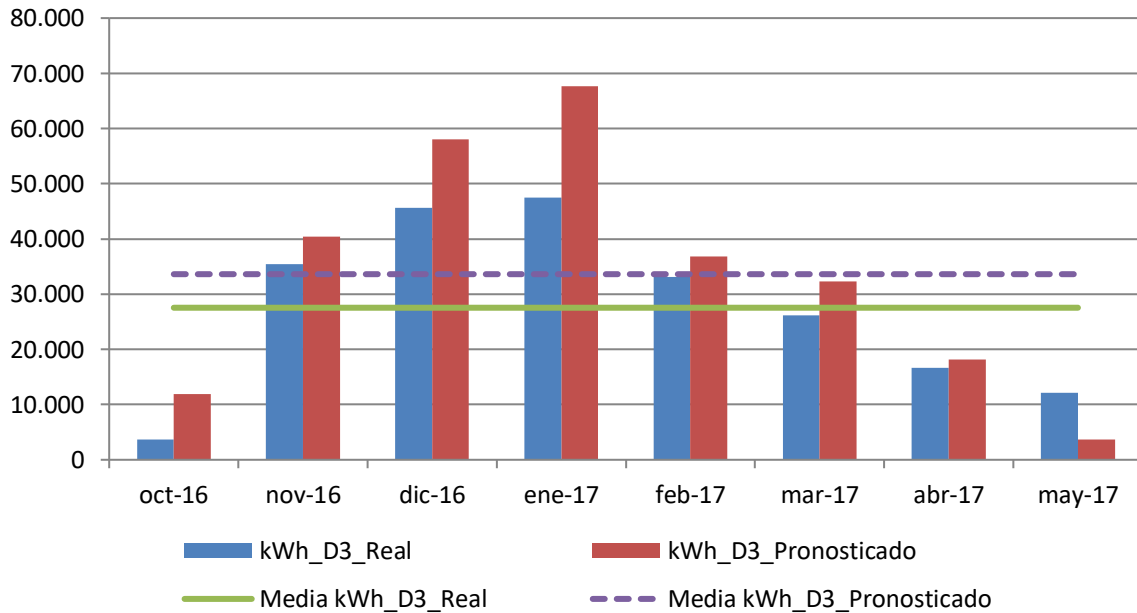


Figura 221. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D3

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 205

Tabla 205. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D3

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,214	8	,200	,891	8	,237
kWh_pronosticado	,228	8	,200*	,877	8	,174

En la Tabla 206, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D3, en un 16,7 %

Tabla 206. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D3

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	31265,6250		8	17404,97575	6153,58819
kWh_pronosticado	36477,6250	16,7%	8	22075,51362	7804,87269

La Tabla 207 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese 16,7% de diferencia

Tabla 207. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D3

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Diferencias relacionadas				
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-5212,000	7485,267	2646,441	-11469,840	1045,840	-1,969	7	,090

En la Figura 222, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D3, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

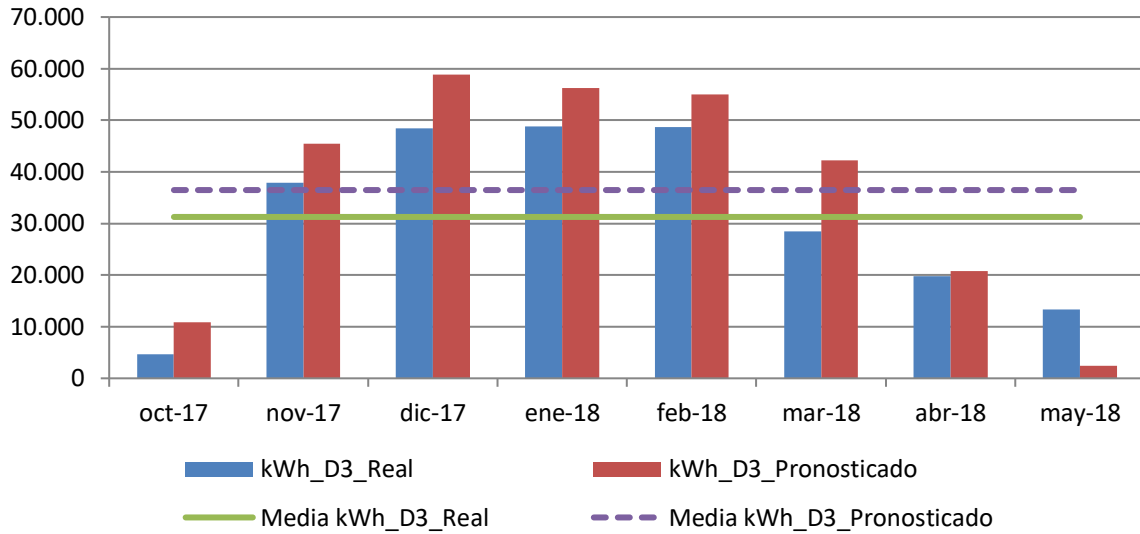


Figura 222. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D3

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 208

Tabla 208. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,094	24	,200	,963	24	,513
kWh_pronosticado	,128	24	,200	,946	24	,221

En la Tabla 209 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D3, en un 14,2 %

Tabla 209. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	30402,7917		24	18007,53602	3675,77290
kWh_pronosticado	34719,4167	14,2%	24	19281,03043	3935,72386

La Tabla 210 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$), a pesar de no haber resultado significativas analizando los datos de manera individual en cada temporada.

Tabla 210. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-4316,625	8816,239	1799,607	-8039,396	-593,854	-2,399	23	,025

AIV.3.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 211, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 211. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D3.

	kWh_D3 Gas Natural	kWh_D3 Biomasa	kWh_D3 Real Total	kWh_D3 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	0	0	11.827	0	0	0	2.980	2.980	2.980
nov-2015	0	28.683	28.683	33.257	0	688	688	8.381	7.692	10.673
dic-2015	0	50.191	50.191	50.916	0	1.205	1.205	12.831	11.626	22.299
ene-2016	0	38.231	38.231	45.495	0	918	918	11.465	10.547	32.846
feb-2016	24.492	43.938	68.430	44.423	6.172	1.055	7.226	11.195	3.968	36.814
mar-2016	666	41.109	41.775	46.343	168	987	1.154	11.678	10.524	47.338
abr-2016	2.038	22.617	24.655	27.998	513	543	1.056	7.055	5.999	53.337
may-2016	0	7.268	7.268	12.268	0	174	174	3.092	2.917	56.254
oct-2016	3.032	679	3.711	11.883	764	16	780	2.995	2.214	58.469
nov-2016	11.777	23.675	35.452	40.443	2.968	568	3.536	10.192	6.656	65.124
dic-2016	10.865	34.750	45.615	58.069	2.738	834	3.572	14.633	11.061	76.186
ene-2017	0	47.454	47.454	67.643	0	1.139	1.139	17.046	15.907	92.093
feb-2017	3.368	29.736	33.104	36.799	849	714	1.562	9.273	7.711	99.804
mar-2017	1.704	24.475	26.179	32.257	429	587	1.017	8.129	7.112	106.916
abr-2017	1.216	15.456	16.672	18.118	306	371	677	4.566	3.888	110.804
may-2017	856	11.266	12.122	3.706	216	270	486	934	448	111.252
oct-2017	0	4.697	4.697	10.917	0	113	113	2.751	2.638	113.890
nov-2017	0	37.870	37.870	45.431	0	909	909	11.449	10.540	124.430
dic-2017	0	48.468	48.468	58.840	0	1.163	1.163	14.828	13.665	138.094
ene-2018	0	48.828	48.828	56.277	0	1.172	1.172	14.182	13.010	151.104
feb-2018	0	48.728	48.728	54.992	0	1.169	1.169	13.858	12.688	163.793
mar-2018	0	28.432	28.432	42.239	0	682	682	10.644	9.962	173.754
abr-2018	0	19.765	19.765	20.733	0	474	474	5.225	4.750	178.505
may-2018	0	13.337	13.337	2.392	0	320	320	603	283	178.787

En estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 179 Toneladas de CO₂

AIV.3.6. Estimación del ahorro económico previsible.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 212 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 213, muestral el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 212. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,0374			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,0314			

Tabla 213. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D3

	kWh_D3_Gas Natural	kWh_D3_Biomasa	kWh_D3 Real	kWh_D3 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado	
oct-2015	0	0	0	11.827	0	0	0	441	441	441	
nov-2015	0	28.683	28.683	33.257	0	901	901	1.240	340	781	
dic-2015	0	50.191	50.191	50.916	0	1.576	1.576	1.899	323	1.104	
ene-2016	0	38.231	38.231	45.495	0	1.200	1.200	1.392	192	1.296	
feb-2016	24.492	43.938	68.430	44.423	749	1.380	2.129	1.359	-770	526	
mar-2016	666	41.109	41.775	46.343	20	1.291	1.311	1.418	107	633	
abr-2016	2.038	22.617	24.655	27.998	62	710	773	857	84	717	
may-2016	0	7.268	7.268	12.268	0	228	228	375	147	864	
oct-2016	3.032	679	3.711	11.883	93	21	114	364	250	1.114	
nov-2016	11.777	23.675	35.452	40.443	360	743	1.104	1.238	134	1.248	
dic-2016	10.865	34.750	45.615	58.069	332	1.091	1.424	1.777	353	1.601	
ene-2017	0	47.454	47.454	67.643	0	1.490	1.490	2.124	634	2.235	
feb-2017	3.368	29.736	33.104	36.799	106	934	1.039	1.155	116	2.351	
mar-2017	1.704	24.475	26.179	32.257	54	769	822	1.013	191	2.542	
abr-2017	1.216	15.456	16.672	18.118	38	485	524	569	45	2.587	
may-2017	856	11.266	12.122	3.706	27	354	381	116	-264	2.323	
oct-2017	0	4.697	4.697	10.917	0	147	147	343	195	2.518	
nov-2017	0	37.870	37.870	45.431	0	1.189	1.189	1.427	237	2.756	
dic-2017	0	48.468	48.468	58.840	0	1.522	1.522	1.848	326	3.081	
ene-2018	0	48.828	48.828	56.277	0	1.533	1.533	1.891	358	3.439	
feb-2018	0	48.728	48.728	54.992	0	1.530	1.530	1.848	318	3.757	
mar-2018	0	28.432	28.432	42.239	0	893	893	1.419	526	4.283	
abr-2018	0	19.765	19.765	20.733	0	621	621	697	76	4.359	
may-2018	0	13.337	13.337	2.392	0	419	419	80	-338	4.021	
€ Total							22.869	26.890			
Ahorro (%)											15,0%

AIV.4. Edificio D4. Biblioteca Aulario Miguel Delibes.

AIV.4.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 214

Tabla 214. Consumos térmicos del edificio D4

Consumos térmicos (kWh). D4	
oct-12	38.678
nov-12	195.712
dic-12	176.685
ene-13	191.773
feb-13	201.662
mar-13	143.416
abr-13	118.693
may-13	57.071
oct-13	51.998
nov-13	103.055
dic-13	225.143
ene-14	153.040
feb-14	201.660
mar-14	116.269
abr-14	53.303
may-14	32.040
Promedio	128.762
Total (oct-12-may-13)	1.123.690
Total (oct-13-may-14)	936.508
Total (oct-12-may-13)	2.060.198

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 215 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Temperatura media). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo la temperatura media por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 216 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 215. Modelos de regresión del Edificio D4

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	271046,123	14946,471	18,134	,000	238989,131	303103,116
T_med	-17453,026	1686,482	-10,349	,000	-21070,171	-13835,881

En la Figura 223 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

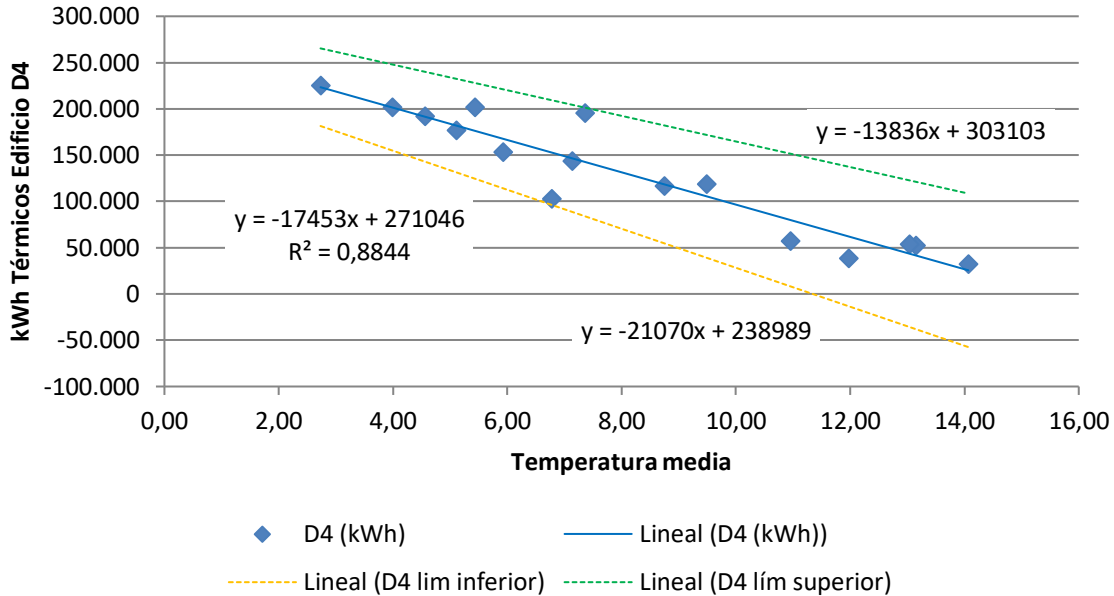


Figura 223. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D4

Tabla 216. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D4

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,783	,448	-,212
	GD20_30min	-,996	,338	-,266
	GD15_24h	-,910	,380	-,245
	GD20_24h	-1,028	,322	-,274
	T_media_diurna	-,302	,767	-,083
	T_max	-,250	,807	-,069
	T_min	,250	,807	,069
	HR_%	,241	,813	,067
	HR_med_diurna_%	,306	,765	,084
1	HR_max_%	,019	,985	,005
	HR_min_%	,150	,883	,041
	Radiación_W/m2	,007	,994	,002
	V_Viento_m/s	,439	,668	,121
	V_viento_diurna_m/s	,491	,632	,135
	V_viento_nocturna_m/s	,315	,758	,087
	V_viento_max_m/s	,463	,651	,127
	Recorrido_viento_km/día	,438	,668	,121
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,775	,452	,210
	Horas insolación_h	-,066	,948	-,018

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D4, se resumen en la Tabla 217

Tabla 217. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D4

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,940	,888	,876	23449,05332

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de -0,94, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es inversa, al aumentar el valor de la Temperatura media, disminuye el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 88,8% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 23.449 kWh, lo que representa un 18,2% del promedio de los consumos que fue de 128.762 kWh.

AIV.4.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 215, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D4) y la independiente (Temperatura media). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas, siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 218, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: Temperatura media poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 218. Prueba de normalidad para el edificio D4

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D4	,172	16	,200	,910	16	,116
T_med	,150	16	,200	,942	16	,375

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 2,735.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629].

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 2,735 está dentro del último intervalo no concluyente, se comprueba la ausencia de autocorrelación, mediante el gráfico de residuos frente al tiempo.

La Figura 224, muestra que la relación entre los residuos y el tiempo, posee un coeficiente de determinación = 0,002, también prácticamente nulo; por lo que se concluye que no existe autocorrelación en los residuos.

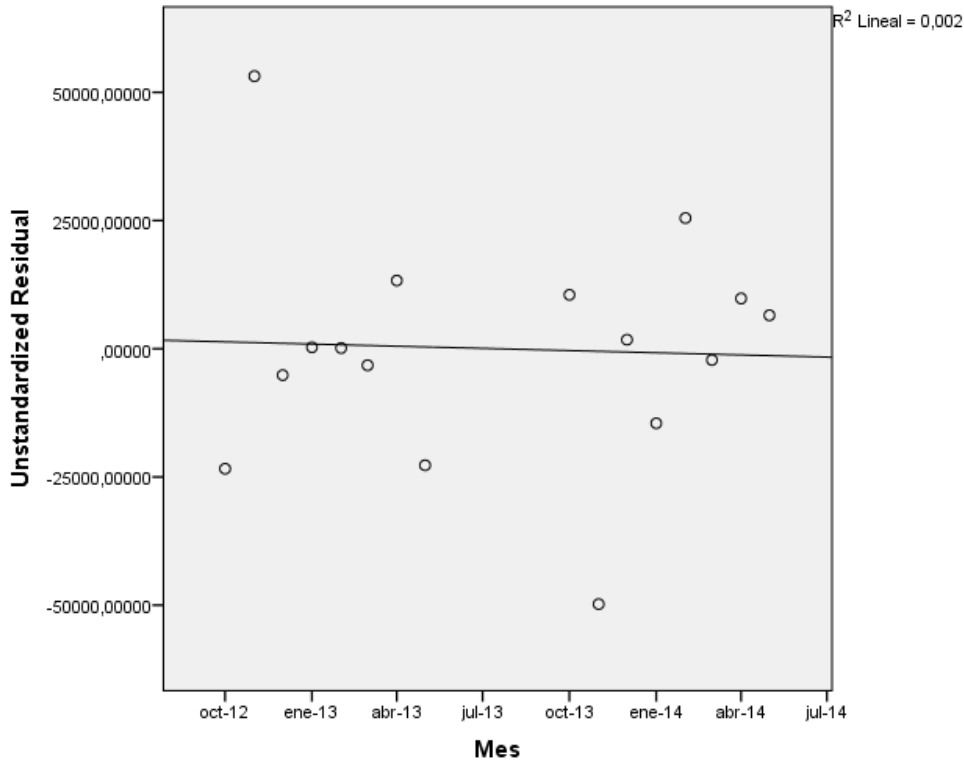


Figura 224. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio D4

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 225 y Figura 226, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación, también de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

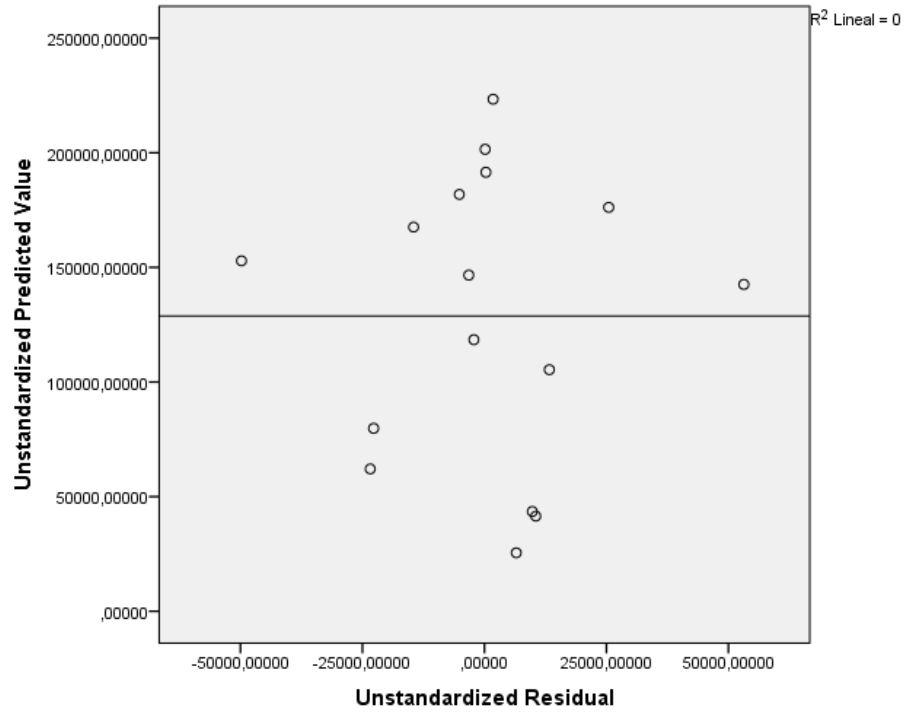


Figura 225. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D4

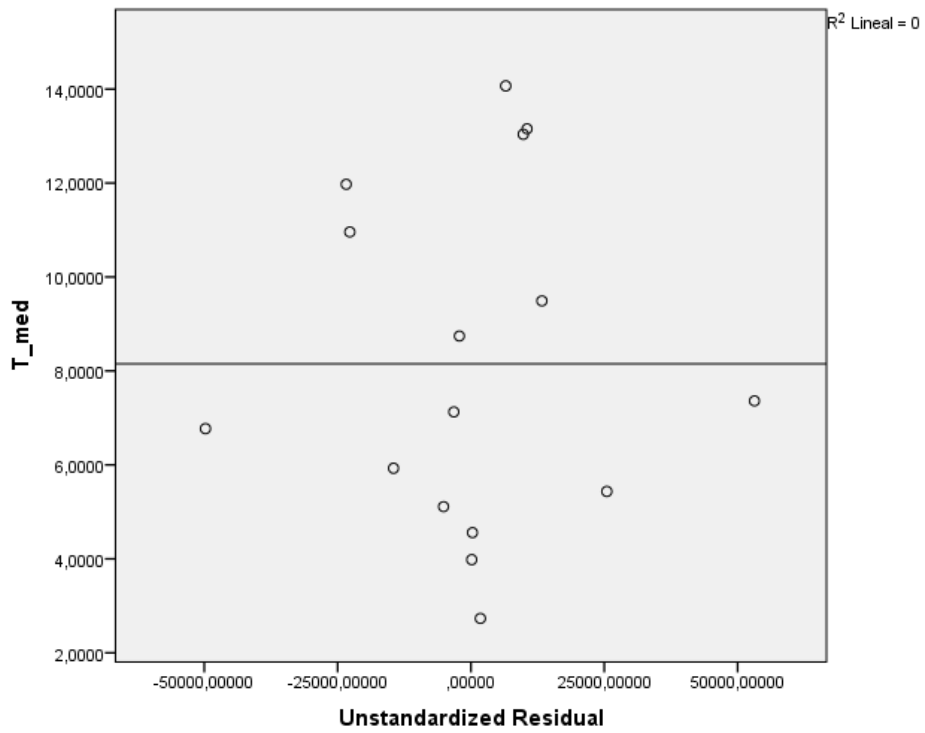


Figura 226. Relación entre Temperatura media y los residuos en el Edificio D4

AIV.4.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D4.

$$\text{kWh_D4_Pronosticado} = 271.046,123 - 17.453,026 \times T_med$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 219, donde “kWh_D4_Real”, representa el consumo real, “kWh_D4_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo. Se prescinde del valor pronosticado para mayo de 2017, por ser un valor imposible, en el estudio de diferencias significativas

Tabla 219. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D4.

	T_med	kWh_D4_Real	kWh_D4_Pronosticado
oct-15	12,82	30.770	47.321
nov-15	8,30	117.720	126.145
dic-15	5,33	91.520	178.044
ene-16	6,23	116.430	162.252
feb-16	5,82	195.806	169.536
mar-16	6,14	132.677	163.834
abr-16	9,10	91.374	112.212
may-16	13,11	30.726	42.164
oct-16	13,48	28.123	35.774
nov-16	6,90	138.294	150.591
dic-16	4,12	115.985	199.106
ene-17	2,52	231.678	227.132
feb-17	6,96	137.936	149.579
mar-17	9,21	104.060	110.315
abr-17	12,58	61.046	51.539
may-17	16,69	22.428	-20.189
oct-17	14,71	9.706	14.290
nov-17	6,09	133.130	164.751
dic-17	3,99	159.080	201.386
ene-18	4,42	188.850	193.892
feb-18	3,53	198.442	209.462
mar-18	6,80	160.912	152.321
abr-18	11,15	70.510	76.509
may-18	14,03	34.320	26.220

AIV.4.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 220

Tabla 220. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D4

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,180	8	,200	,928	8	,498
kWh_pronosticado	,252	8	,144	,839	8	,073

En la Tabla 221, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D4, en un 24,1 %

Tabla 221. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D4

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	100877,8750		8	54198,51369	19162,06828
kWh_pronosticado	125188,5000	24,1%	8	54449,58604	19250,83576

La Tabla 222 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $>0,05$), a pesar de existir ese 24,1% de diferencia

Tabla 222. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D4

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Diferencias relacionadas				
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-24310,625	32577,039	11517,722	-51545,711	2924,461	-2,111	7	,073

En la Figura 227, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D4, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

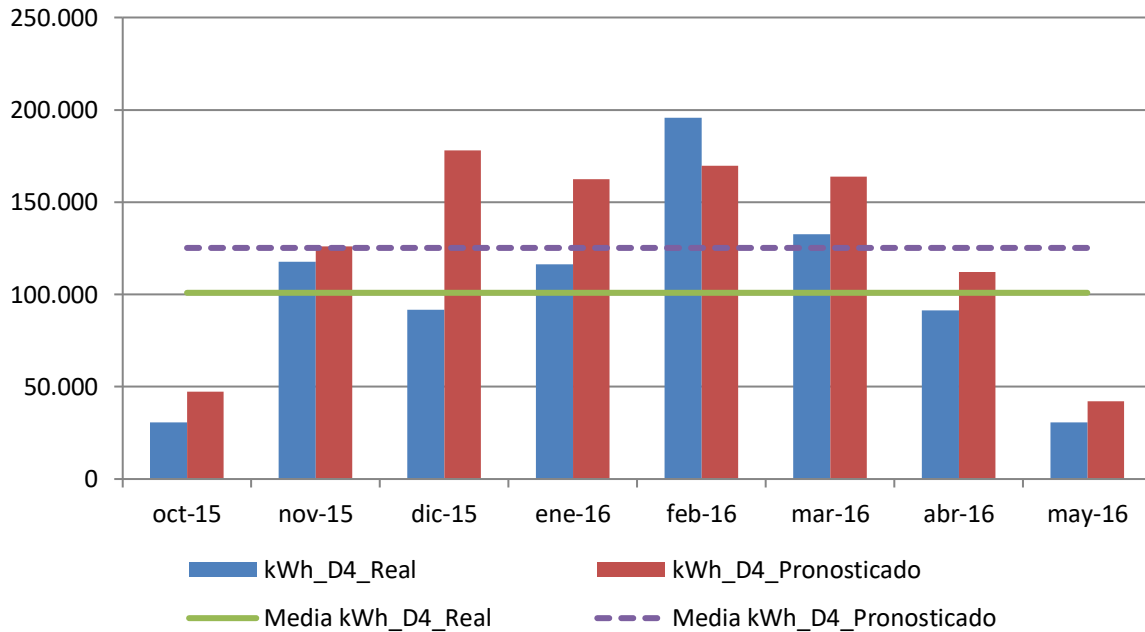


Figura 227. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D4

Para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 223. El número de datos disponibles son 7, dado que el pronóstico para mayo de 2017, resultó un dato negativo.

Tabla 223. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D4

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,227	7	,200	,952	7	,749
kWh_pronosticado	,169	7	,200	,946	7	,695

En la Tabla 224, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D4, en un 13,1 %

Tabla 224. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D4

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	116731,7143		7	64859,76596	24514,68726
kWh_pronosticado	132005,1429	13,1%	7	71194,11705	26908,84693

La Tabla 225 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese 13,1% de diferencia

Tabla 225. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D4

Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
		-15273,428	31015,171	11722,633	-43957,677	13410,820	-1,303	6	,240

En la Figura 228, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017 para el Edificio D4, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

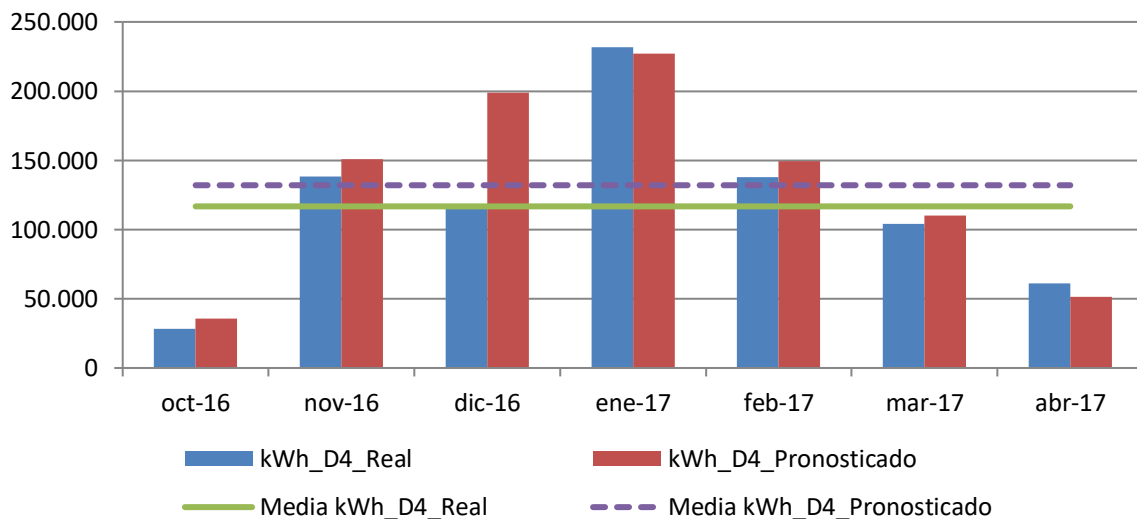


Figura 228. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D4

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 226

Tabla 226. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D4

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,210	8	,200	,898	8	,279
kWh_pronosticado	,236	8	,200	,858	8	,114

En la Tabla 227, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D4, en un 8,8 %

Tabla 227. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D4

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	119368,7500		8	71931,32244	25431,56294
kWh_pronosticado	129853,8750	8,8%	8	79479,04118	28100,08449

La Tabla 228 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese 8,8% de diferencia

Tabla 228. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D4

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Diferencias relacionadas		t	gl	Sig. (bilateral)
				95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-10485,125	17942,213	6343,530	-25485,190	4514,940	-1,653	7	,142

En la Figura 229 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D4, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

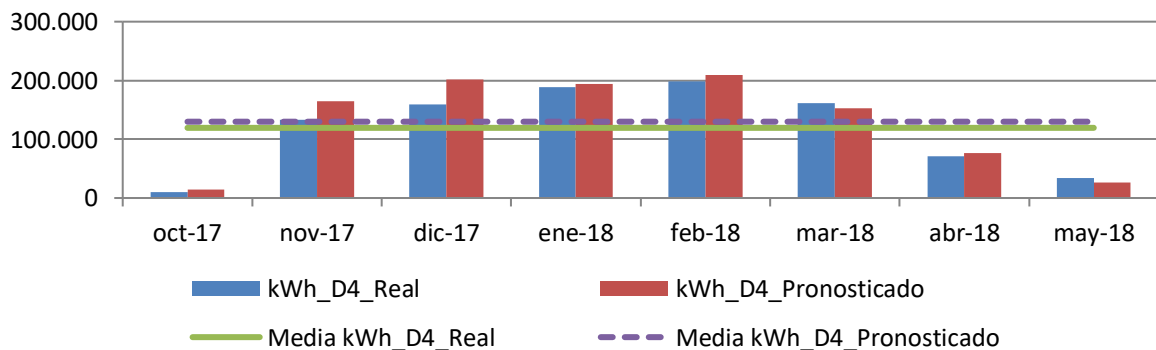


Figura 229. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D4

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 229

Tabla 229. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,114	23	,200*	,965	23	,570
kWh_pronosticado	,188	23	,033	,920	23	,065

En la Tabla 230 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D4, en un 14,9 %

Tabla 230. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	112134,6126		23	61644,92974	12853,85640
kWh_pronosticado	128885,8313	14,9%	23	65909,23020	13743,02452

La Tabla 231 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig ≤ 0,05), a pesar de no haber resultado significativas analizando los datos de manera individual en cada temporada.

Tabla 231. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4

	Diferencias relacionadas						Sig. (bilateral)	
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t		gl
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-16751,219	27169,990	5665,334	-28500,403	-5002,034	-2,957	22	,007

AIV.4.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 232, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 232. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D4.

	kWh_D4 Gas Natural	kWh_D4 Biomasa	kWh_D4 Real Total	kWh_D4 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	30.770	30.770	47.321	0	738	738	11.925	11.186	11.186
nov-2015	0	117.720	117.720	126.145	0	2.825	2.825	31.789	28.963	40.150
dic-2015	0	91.520	91.520	178.044	0	2.196	2.196	44.867	42.671	82.820
ene-2016	0	116.430	116.430	162.252	0	2.794	2.794	40.887	38.093	120.913
feb-2016	46.776	149.030	195.806	169.536	11.788	3.577	15.364	42.723	27.359	148.272
mar-2016	14.117	118.560	132.677	163.834	3.558	2.845	6.403	41.286	34.883	183.155
abr-2016	714	90.660	91.374	112.212	180	2.176	2.356	28.277	25.922	209.077
may-2016	16	30.710	30.726	42.164	4	737	741	10.625	9.884	218.961
oct-2016	11.633	16.490	28.123	35.774	2.932	396	3.327	9.015	5.688	224.649
nov-2016	1.264	137.030	138.294	150.591	319	3.289	3.607	37.949	34.342	258.990
dic-2016	5.785	110.200	115.985	199.106	1.458	2.645	4.103	50.175	46.072	305.063
ene-2017	88	231.590	231.678	227.132	22	5.558	5.580	57.237	51.657	356.719
feb-2017	136	137.800	137.936	149.579	34	3.307	3.341	37.694	34.353	391.072
mar-2017	0	104.060	104.060	110.315	0	2.497	2.497	27.799	25.302	416.374
abr-2017	536	60.510	61.046	51.539	135	1.452	1.587	12.988	11.401	427.775
may-2017	88	22.340	22.428	0	22	536	558	0	-558	427.216
oct-2017	56	9.650	9.706	14.290	14	232	246	3.601	3.355	430.571
nov-2017	1.080	132.050	133.130	164.751	272	3.169	3.441	41.517	38.076	468.647
dic-2017	1.080	158.000	159.080	201.386	272	3.792	4.064	50.749	46.685	515.333
ene-2018	0	188.850	188.850	193.892	0	4.532	4.532	48.861	44.329	559.661
feb-2018	512	197.930	198.442	209.462	129	4.750	4.879	52.784	47.905	607.566
mar-2018	912	160.000	160.912	152.321	230	3.840	4.070	38.385	34.315	641.881
abr-2018	0	70.510	70.510	76.509	0	1.692	1.692	19.280	17.588	659.469
may-2018	0	34.320	34.320	26.220	0	824	824	6.607	5.784	665.253

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 665 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio D4.

AIV.4.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 233 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 234, muestral el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 233. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03701			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,03130			

Tabla 234. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D4

	kWh_D4_Gas Natural	kWh_D4_Biomasa	kWh_D4 Real	kWh_D4 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	30.770	30.770	47.321	0	963	963	1.765	802	802
nov-2015	0	117.720	117.720	126.145	0	3.685	3.685	4.705	1.021	1.823
dic-2015	0	91.520	91.520	178.044	0	2.865	2.865	6.641	3.776	5.599
ene-2016	0	116.430	116.430	162.252	0	3.644	3.644	4.965	1.321	6.920
feb-2016	46.776	149.030	195.806	169.536	1.431	4.665	6.096	5.188	-908	6.011
mar-2016	14.117	118.560	132.677	163.834	432	3.711	4.143	5.013	870	6.882
abr-2016	714	90.660	91.374	112.212	22	2.838	2.860	3.434	574	7.456
may-2016	16	30.710	30.726	42.164	0	961	962	1.290	328	7.785
oct-2016	11.633	16.490	28.123	35.774	356	516	872	1.095	223	8.007
nov-2016	1.264	137.030	138.294	150.591	39	4.289	4.328	4.608	280	8.287
dic-2016	5.785	110.200	115.985	199.106	177	3.449	3.626	6.093	2.466	10.754
ene-2017	88	231.590	231.678	227.132	3	7.249	7.252	7.132	-120	10.634
feb-2017	136	137.800	137.936	149.579	4	4.313	4.317	4.697	379	11.014
mar-2017	0	104.060	104.060	110.315	0	3.257	3.257	3.464	207	11.220
abr-2017	536	60.510	61.046	51.539	17	1.894	1.911	1.618	-292	10.928
may-2017	88	22.340	22.428	0	3	699	702	0	-702	10.226
oct-2017	56	9.650	9.706	14.290	2	302	304	449	145	10.371
nov-2017	1.080	132.050	133.130	164.751	34	4.133	4.167	5.173	1.006	11.377
dic-2017	1.080	158.000	159.080	201.386	34	4.945	4.979	6.324	1.344	12.721
ene-2018	0	188.850	188.850	193.892	0	5.911	5.911	6.515	604	13.325
feb-2018	512	197.930	198.442	209.462	17	6.195	6.212	7.038	826	14.150
mar-2018	912	160.000	160.912	152.321	31	5.008	5.039	5.118	79	14.230
abr-2018	0	70.510	70.510	76.509	0	2.207	2.207	2.571	364	14.594
may-2018	0	34.320	34.320	26.220	0	1.074	1.074	881	-193	14.400
€ Total							81.375	95.775		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.5.Edificio D5. Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada. IOBA.

AIV.5.1.Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 235

Tabla 235. Consumos térmicos del edificio D5

Consumos térmicos (kWh). D5	
oct-12	5.298
nov-12	12.464
dic-12	16.625
ene-13	17.744
feb-13	17.029
mar-13	13.786
abr-13	9.765
may-13	7.775
oct-13	5.004
nov-13	12.654
dic-13	20.880
ene-14	16.068
feb-14	14.051
mar-14	10.258
abr-14	5.701
may-14	4.886
Promedio	11.874
Total (oct-12-may-13)	100.486
Total (oct-13-may-14)	89.502
Total (oct-12-may-13)	189.988

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 236 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 15, obtenidos con datos cada 30 minutos). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 15 por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 237 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 236. Modelos de regresión del Edificio D5

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-653,894	435,857	-1,500	,156	-1588,716	280,927
GD15_30min	56,535	1,831	30,880	,000	52,608	60,462

En la Figura 230 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

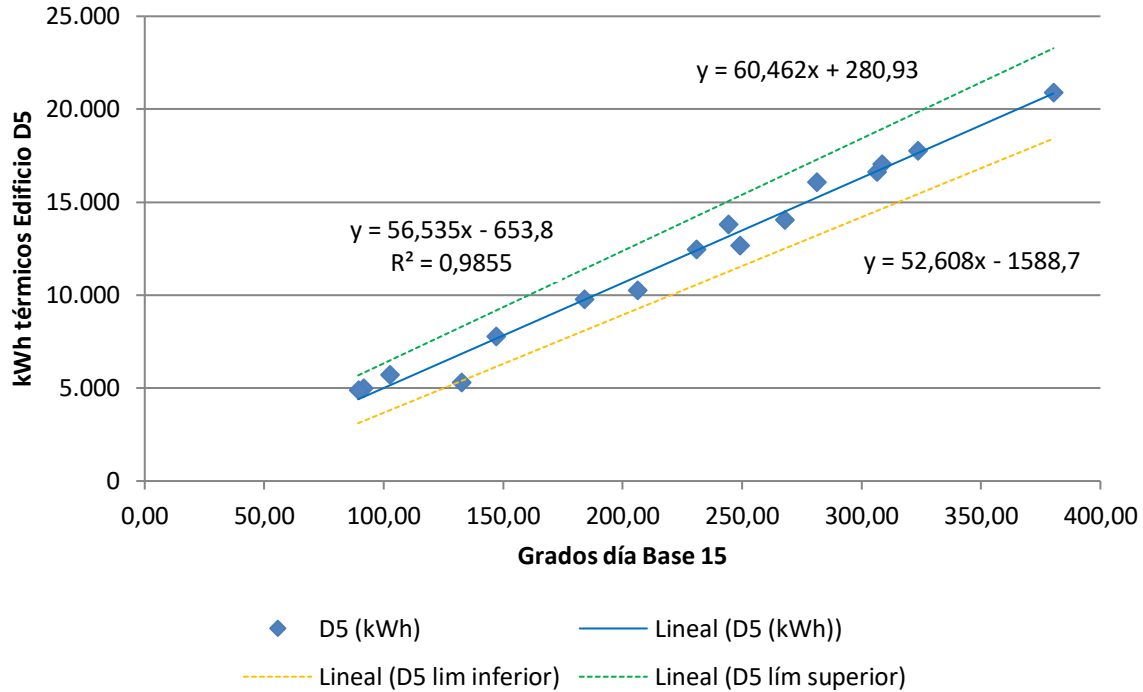


Figura 230. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D5

Tabla 237. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D5

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	,120	,906	,033
	GD15_24h	-,472	,645	-,130
	GD20_24h	,036	,972	,010
	T_med_30min_C	,328	,748	,091
	T_media_diurna_C	,000	1,000	,000
	T_max_C	-,379	,710	-,105
	T_min_C	,825	,424	,223
	HR_%	,279	,784	,077
	HR_med_diurna_%	,229	,822	,063
1	HR_max_%	,415	,685	,114
	HR_min_%	,399	,697	,110
	Radiación_W/m2	,557	,587	,153
	V_Viento_m/s	,739	,473	,201
	V_viento_diurna_m/s	,640	,533	,175
	V_viento_nocturna_m/s	,861	,405	,232
	V_viento_max_m/s	,543	,596	,149
	Recorrido_viento_km/día	,740	,472	,201
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,016	,987	,004
	Horas insolación_h	,339	,740	,094

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D5, se resumen en la Tabla 238

Tabla 238. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D5

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,993	,986	,984	637,22267

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,993, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 98,6% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 637 kWh, lo que representa un 5,4% del promedio de los consumos que fue de 11.874 kWh.

AIV.5.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 236, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D5) y la independiente (GD15_30min). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 15 calculado a partir de datos cada 30 minutos.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 239, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15 poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 239. Prueba de normalidad para el edificio D5

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D5	,136	16	,200	,938	16	,325
GD15_30min	,109	16	,200	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,693.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629], como el valor del estadístico 1,693 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas. Las Figura 231 y Figura 232, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Grados Día Base 15) y los residuos un coeficiente de determinación también de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

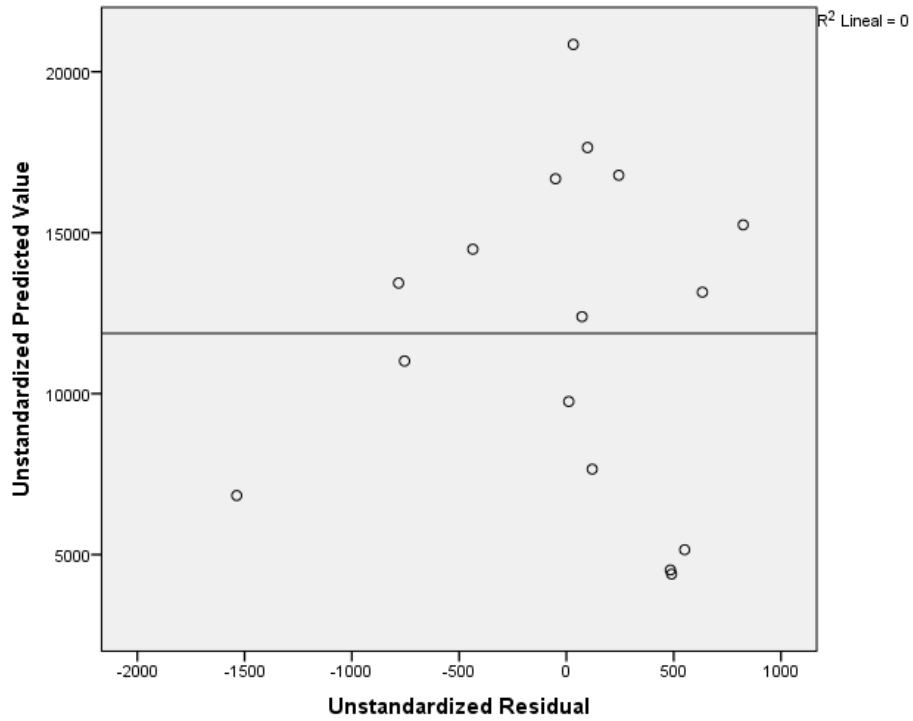


Figura 231. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D5

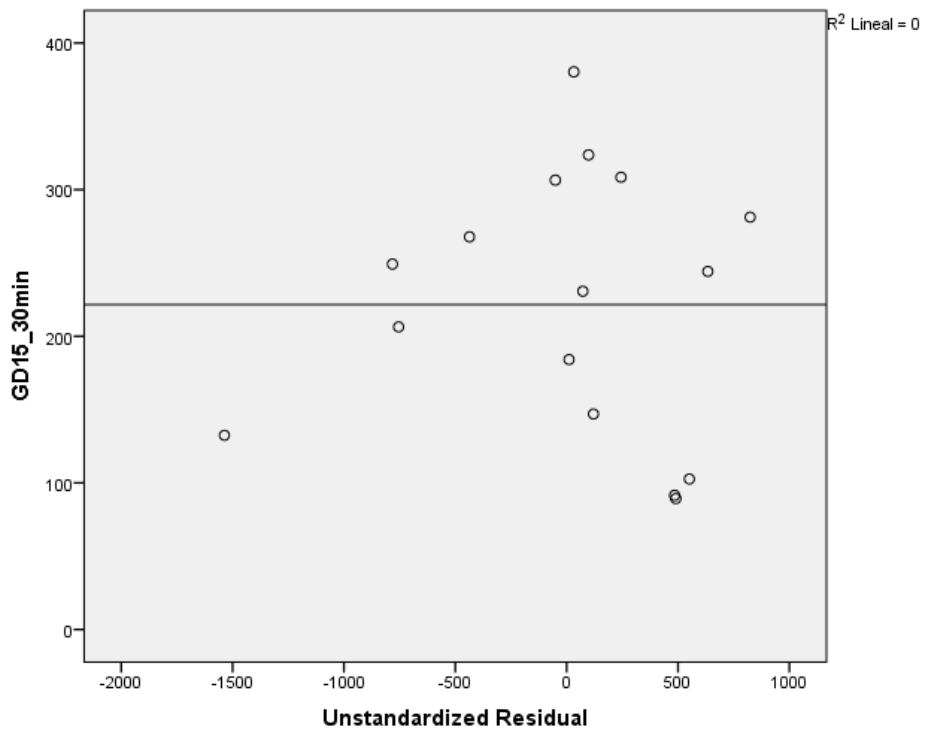


Figura 232. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D5

AIV.5.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D5.

$$\text{kWh_D5_Pronosticado} = -653,894 + 56,535 \times \text{GD15_30min}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 240, donde “kWh_D5_Real”, representa el consumo real, “kWh_D5_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 240. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D5.

	GD15	kWh_D5_Real	kWh_D5_Pronosticado
oct-15	97,04	4.908	4.832
nov-15	208,36	16.749	11.126
dic-15	300,09	16.244	16.312
ene-16	271,93	10.727	14.720
feb-16	266,36	30.176	14.405
mar-16	276,34	18.666	14.969
abr-16	181,04	13.772	9.581
may-16	99,34	7.926	4.962
oct-16	97,34	11.119	4.849
nov-16	245,69	9.643	13.236
dic-16	337,25	17.910	18.413
ene-17	386,98	20.318	21.224
feb-17	226,76	13.128	12.166
mar-17	203,17	12.215	10.832
abr-17	129,72	8.730	6.680
may-17	54,86	7.585	2.447
oct-17	92,31	7.020	4.565
nov-17	271,60	11.984	14.701
dic-17	341,26	15.343	18.639
ene-18	327,94	14.960	17.886
feb-18	321,27	19.556	17.509
mar-18	255,02	15.655	13.764
abr-18	143,31	13.055	7.448
may-18	78,41	13.273	3.779

AIV.5.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 241

Tabla 241. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,186	8	,200*	,948	8	,687
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,135

En la Tabla 242, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D5, en un 23,7 %

Tabla 242. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D5

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	13646,0000		8	5369,58357	1898,43448
kWh_pronosticado	11363,3750	-23,7%	8	4549,37207	1608,44592

La Tabla 243 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $>0,05$), a pesar de existir ese -23,7% de diferencia

Tabla 243. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D5

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Diferencias relacionadas				
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	2282,625	3363,917	1189,324	-529,680	5094,930	1,919	7	,096

En la Figura 233, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D5, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

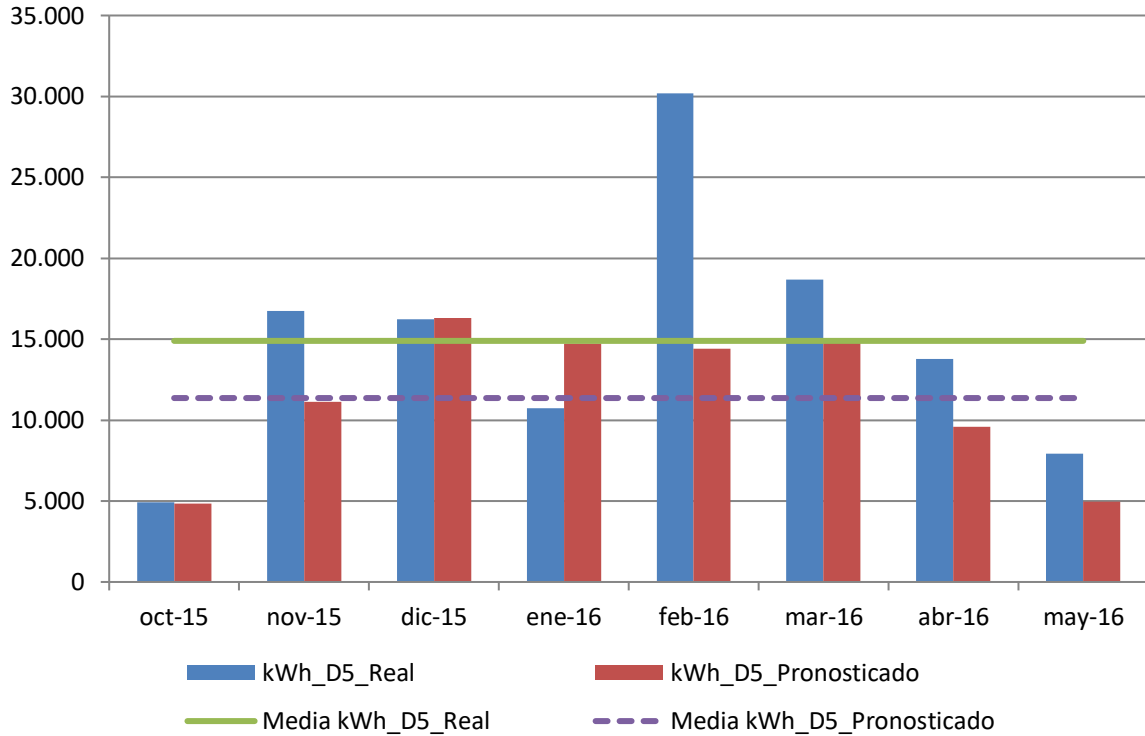


Figura 233. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D5

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 244

Tabla 244. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,201	8	,200	,914	8	,381
kWh_pronosticado	,133	8	,200	,965	8	,856

En la Tabla 245, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D5, en un 10,7 %

Tabla 245. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D5

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	12581,0000		8	4460,17424	1576,90973
kWh_pronosticado	11230,8750	-10,7%	8	6492,79606	2295,55006

La Tabla 246 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese -10,7% de diferencia

Tabla 246. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D5

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	1350,125	3210,549	1135,100	-1333,961	4034,211	1,189	7	,273

En la Figura 234, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio D5, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

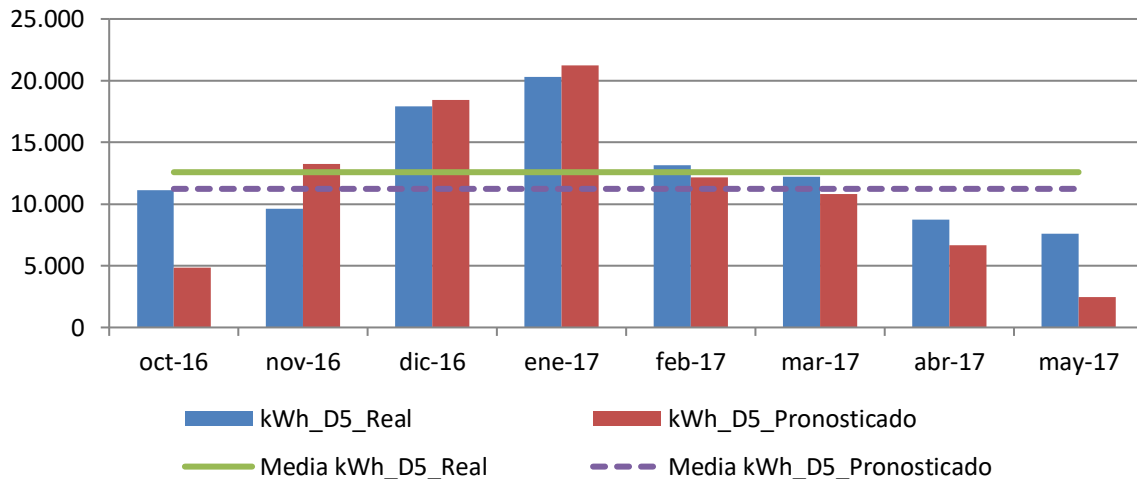


Figura 234. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D5

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 247

Tabla 247. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,183	8	,200	,945	8	,662
kWh_pronosticado	,220	8	,200	,860	8	,119

En la Tabla 248, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D5, en un 11,3 %

Tabla 248. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D5

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	13855,7500		8	3593,11157	1270,35678
kWh_pronosticado	12286,3750	-11,3%	8	6122,62992	2164,67657

La Tabla 249 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese -11,3% de diferencia

Tabla 249. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D5

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	1569,375	4511,434	1595,031	-2202,278	5341,028	,984	7	,358

En la Figura 235, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D5, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

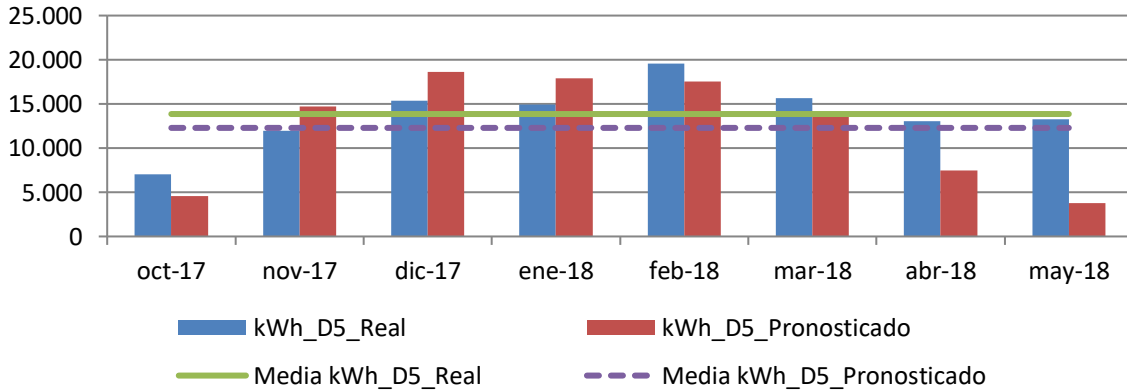


Figura 235. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D5

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 250

Tabla 250. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,084	24	,200	,941	24	,169
kWh_pronosticado	,135	24	,200	,942	24	,183

En la Tabla 251 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D5, en un 15,6 %

Tabla 251. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	13777,5108		24	5401,51747	1102,58014
kWh_pronosticado	11626,9142	-15,6%	24	5546,85045	1132,24611

La Tabla 252 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig ≤ 0,05), a pesar de no haber resultado significativas analizando los datos de manera individual en cada temporada.

Tabla 252. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5

	Diferencias relacionadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					
				Inferior	Superior				
kWh_real - kWh_pronosticado	2150,597	4540,661	926,859	233,243	4067,950	2,320	23	,030	

AIV.5.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 253, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 253. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D5.

	kWh_D5 Gas Natural	kWh_D5 Biomasa	kWh_D5 Real Total	kWh_D5 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	4.908	4.908	4.832	0	118	118	1.218	1.100	1.100
nov-2015	0	16.749	16.749	11.126	0	402	402	2.804	2.402	3.502
dic-2015	0	16.244	16.244	16.312	0	390	390	4.111	3.721	7.222
ene-2016	0	10.727	10.727	14.720	0	257	257	3.709	3.452	10.674
feb-2016	16.962	13.214	30.176	14.405	4.274	317	4.591	3.630	-961	9.713
mar-2016	3.621	15.045	18.666	14.969	912	361	1.273	3.772	2.499	12.212
abr-2016	1.356	12.416	13.772	9.581	342	298	640	2.414	1.775	13.987
may-2016	1.510	6.416	7.926	4.962	381	154	534	1.250	716	14.702
oct-2016	5.921	5.198	11.119	4.849	1.492	125	1.617	1.222	-395	14.308
nov-2016	88	9.555	9.643	13.236	22	229	251	3.336	3.084	17.392
dic-2016	16	17.894	17.910	18.413	4	429	433	4.640	4.206	21.598
ene-2017	56	20.262	20.318	21.224	14	486	500	5.349	4.848	26.446
feb-2017	1.120	12.008	13.128	12.166	282	288	570	3.066	2.495	28.942
mar-2017	32	12.183	12.215	10.832	8	292	300	2.730	2.429	31.371
abr-2017	8	8.722	8.730	6.680	2	209	211	1.683	1.472	32.843
may-2017	408	7.177	7.585	2.447	103	172	275	617	342	33.185
oct-2017	4.889	2.131	7.020	4.565	1.232	51	1.283	1.150	-133	33.052
nov-2017	40	11.944	11.984	14.701	10	287	297	3.705	3.408	36.460
dic-2017	0	15.343	15.343	18.639	0	368	368	4.697	4.329	40.789
ene-2018	0	14.960	14.960	17.886	0	359	359	4.507	4.148	44.937
feb-2018	56	19.500	19.556	17.509	14	468	482	4.412	3.930	48.867
mar-2018	80	15.575	15.655	13.764	20	374	394	3.468	3.074	51.942
abr-2018	0	13.055	13.055	7.448	0	313	313	1.877	1.564	53.505
may-2018	0	13.273	13.273	3.779	0	319	319	952	634	54.139

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 54 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio D5.

AIV.5.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 254 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 255, muestral el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 254. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,02681			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02224			

Tabla 255. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D5

	kWh_D5_Gas Natural	kWh_D5_Biomasa	kWh_D5 Real	kWh_D5 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	4.908	4.908	4.832	0	109	109	180	71	71
nov-2015	0	16.749	16.749	11.126	0	372	372	415	42	114
dic-2015	0	16.244	16.244	16.312	0	361	361	608	247	361
ene-2016	0	10.727	10.727	14.720	0	239	239	450	212	573
feb-2016	16.962	13.214	30.176	14.405	519	294	813	441	-372	201
mar-2016	3.621	15.045	18.666	14.969	111	335	445	458	13	213
abr-2016	1.356	12.416	13.772	9.581	41	276	318	293	-24	189
may-2016	1.510	6.416	7.926	4.962	46	143	189	152	-37	152
oct-2016	5.921	5.198	11.119	4.849	181	116	297	148	-148	3
nov-2016	88	9.555	9.643	13.236	3	213	215	405	190	193
dic-2016	16	17.894	17.910	18.413	0	398	398	563	165	358
ene-2017	56	20.262	20.318	21.224	2	451	452	666	214	572
feb-2017	1.120	12.008	13.128	12.166	35	267	302	382	80	652
mar-2017	32	12.183	12.215	10.832	1	271	272	340	68	720
abr-2017	8	8.722	8.730	6.680	0	194	194	210	16	736
may-2017	408	7.177	7.585	2.447	13	160	172	77	-96	640
oct-2017	4.889	2.131	7.020	4.565	153	47	201	143	-58	583
nov-2017	40	11.944	11.984	14.701	1	266	267	462	195	777
dic-2017	0	15.343	15.343	18.639	0	341	341	585	244	1.021
ene-2018	0	14.960	14.960	17.886	0	333	333	601	268	1.290
feb-2018	56	19.500	19.556	17.509	2	434	435	588	153	1.442
mar-2018	80	15.575	15.655	13.764	3	346	349	462	114	1.556
abr-2018	0	13.055	13.055	7.448	0	290	290	250	-40	1.516
may-2018	0	13.273	13.273	3.779	0	295	295	127	-168	1.348
€ Total							7.662	9.009		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.6. Edificio D6. Facultad de Ciencias.

AIV.6.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 256

Tabla 256. Consumos térmicos del edificio D6

Consumos térmicos (kWh). D6	
oct-12	65.093
nov-12	145.750
dic-12	194.289
ene-13	207.050
feb-13	198.500
mar-13	160.192
abr-13	114.486
may-13	91.192
oct-13	58.407
nov-13	149.340
dic-13	243.583
ene-14	186.405
feb-14	165.006
mar-14	121.453
abr-14	66.396
may-14	57.028
Promedio	139.011
Total (oct-12-may-13)	1.176.552
Total (oct-13-may-14)	1.047.618
Total (oct-12-may-13)	2.224.170

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 257 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 15, obtenidos con datos cada 30 minutos). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 15 por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 258 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 257. Modelos de regresión del Edificio D6

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-6540,157	4358,501	-1,501	,156	-15888,212	2807,898
GD15_30min	656,818	18,307	35,877	,000	617,552	696,084

En la Figura 236 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

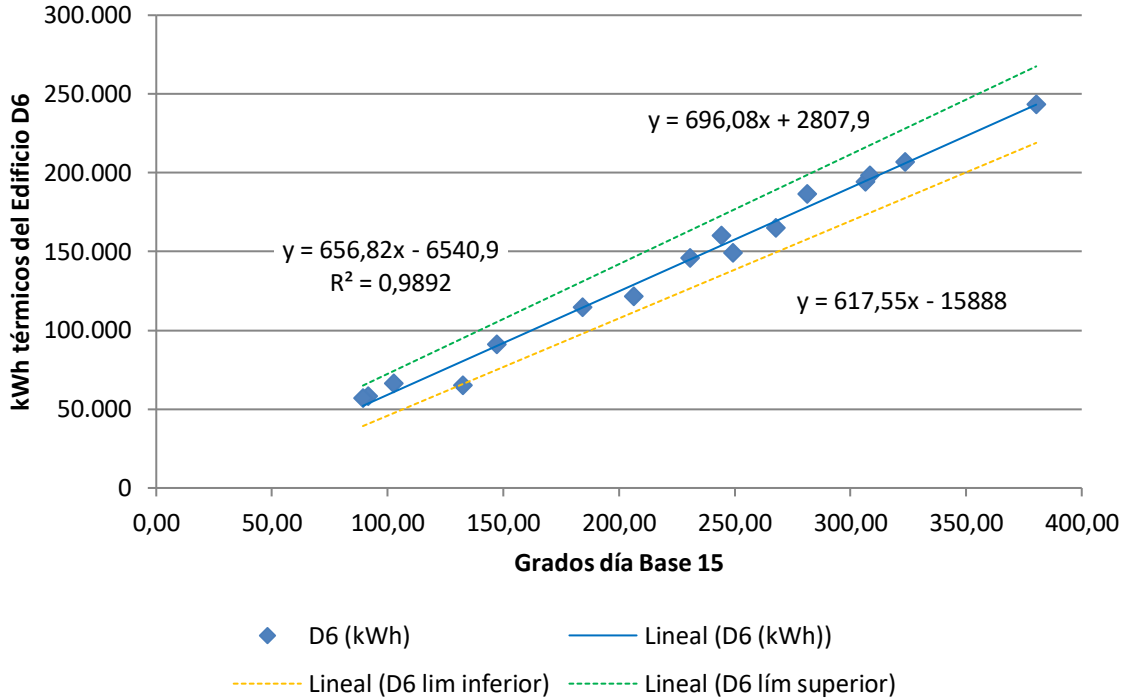


Figura 236. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D6

Tabla 258. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D6

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	,121	,906	,033
	GD15_24h	-,471	,645	-,130
	GD_20_24h	,036	,972	,010
	T_med_30min_C	,326	,750	,090
	T_media_diurna_C	,003	,998	,001
	T_max_C	-,386	,706	-,106
	T_min_C	,823	,426	,222
	HR_%	,280	,784	,077
	HR_med_diurna_%	,230	,822	,064
1	HR_max_%	,417	,684	,115
	HR_min_%	,399	,696	,110
	Radiación_W/m2	,557	,587	,153
	V_Viento_m/s	,741	,472	,201
	V_viento_diurna_m/s	,635	,536	,174
	V_viento_nocturna_m/s	,860	,405	,232
	V_viento_max_m/s	,546	,594	,150
	Recorrido_viento_km/día	,740	,473	,201
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,016	,988	,004
	Horas insolación_h	,336	,742	,093

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D6, se resumen en la Tabla 259

Tabla 259. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D6

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,995	,989	,988	6372,18709

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,995, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 98,9% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta respecto a la recta de regresión, es de 6.372 kWh, lo que representa un 4,6% del promedio de los consumos que fue de 139.011 kWh.

AIV.6.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 257, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D6) y la independiente (GD15). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 15 calculado con datos cada 30 minutos.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula que la distribución es Normal.

La Tabla 260, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15 poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 260. Prueba de normalidad para el edificio D6

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D6	,136	16	,200	,940	16	,325
GD15_30min	,109	16	,200	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,693.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629], como el valor del estadístico 1,693 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas. Las Figura 237 y Figura 238, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = $-2,22 \times 10^{-16}$ y entre la variable independiente (Grados Día Base 15) y los residuos un coeficiente de determinación de $1,11 \times 10^{-16}$; ambos prácticamente 0, por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

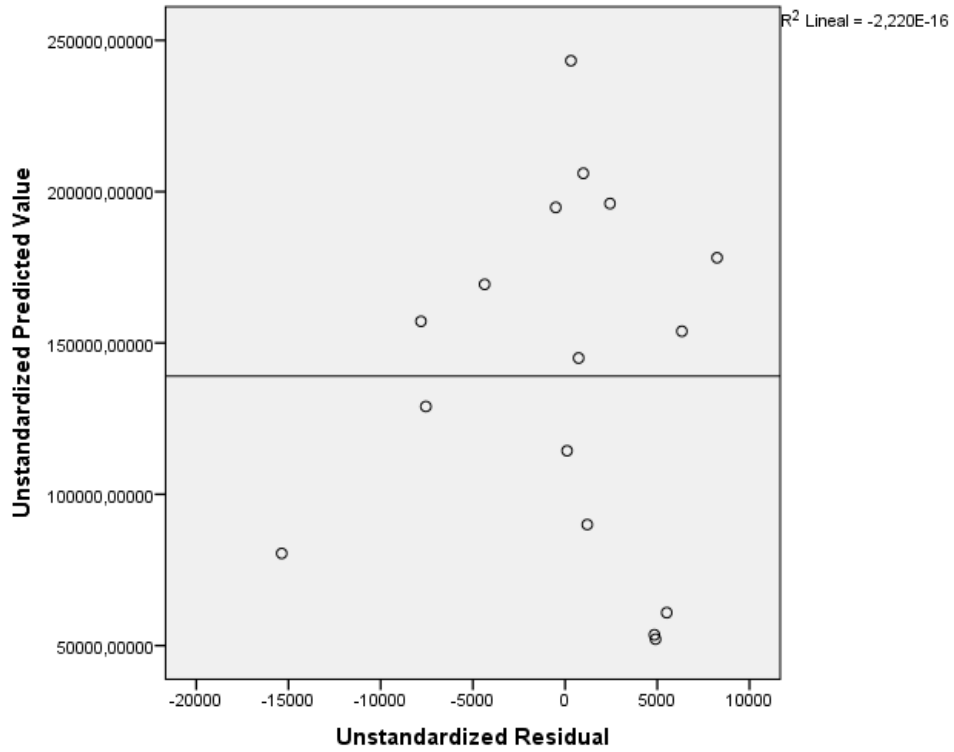


Figura 237. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D6

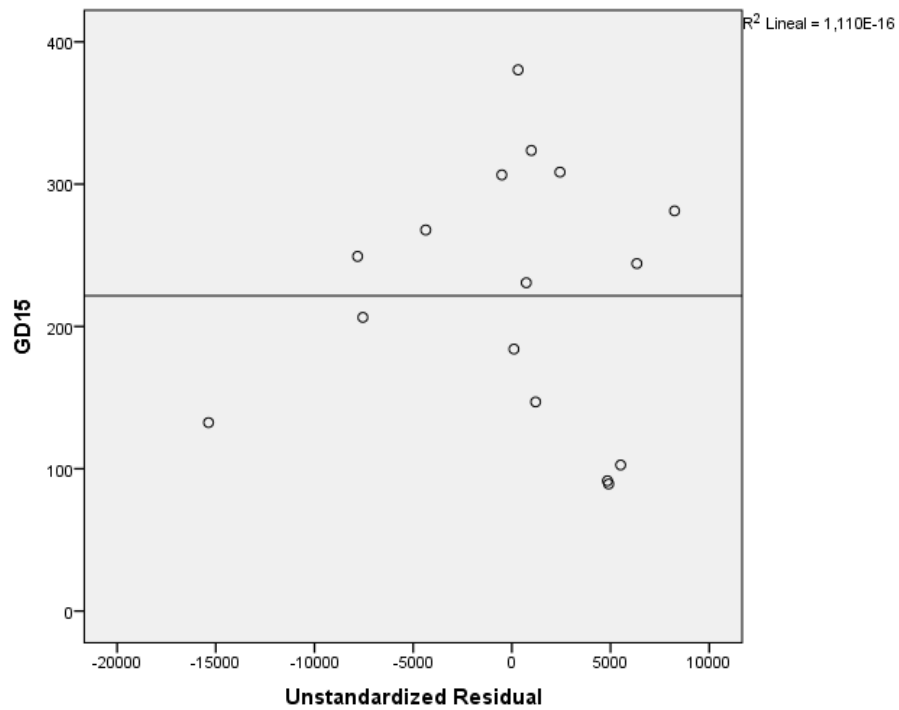


Figura 238. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D6

AIV.6.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D6.

$$\text{kWh_D6_Pronosticado} = -6540,157 + 656,818 \times \text{GD15_30min}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 261, donde “kWh_D6_Real”, representa el consumo real, “kWh_D6_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 261. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D6.

	GD15	kWh_D6_Real	kWh_D6_Pronosticado
oct-15	97,04	32.180	57.199
nov-15	208,36	128.080	130.316
dic-15	300,09	147.210	190.568
ene-16	271,93	172.470	172.071
feb-16	266,36	348.935	168.412
mar-16	276,34	226.654	174.963
abr-16	181,04	150.969	112.372
may-16	99,34	28.051	58.705
oct-16	97,34	21.196	57.393
nov-16	245,69	190.925	154.834
dic-16	337,25	207.496	214.973
ene-17	386,98	273.478	247.638
feb-17	226,76	191.313	142.400
mar-17	203,17	147.550	126.905
abr-17	129,72	64.206	78.663
may-17	54,86	22.062	29.492
oct-17	92,31	10.750	54.094
nov-17	271,60	148.032	171.852
dic-17	341,26	222.510	217.603
ene-18	327,94	275.251	208.859
feb-18	321,27	293.190	204.472
mar-18	255,02	219.610	160.962
abr-18	143,31	102.000	87.586
may-18	78,41	29.180	44.959

AIV.6.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 262

Tabla 262. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D6

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,180	8	,200	,926	8	,482
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,135

En la Tabla 263, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D6, en un 13,8 %

Tabla 263. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D6

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	154318,6250		8	103543,63271	36608,20242
kWh_pronosticado	133075,7500	-13,8%	8	52852,53304	18686,19226

La Tabla 264 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $>0,05$), a pesar de existir ese -13,8% de diferencia

Tabla 264. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D6

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	21242,875	72299,829	25561,849	-39201,294	81687,044	,831	7	,433

En la Figura 239, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D6, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

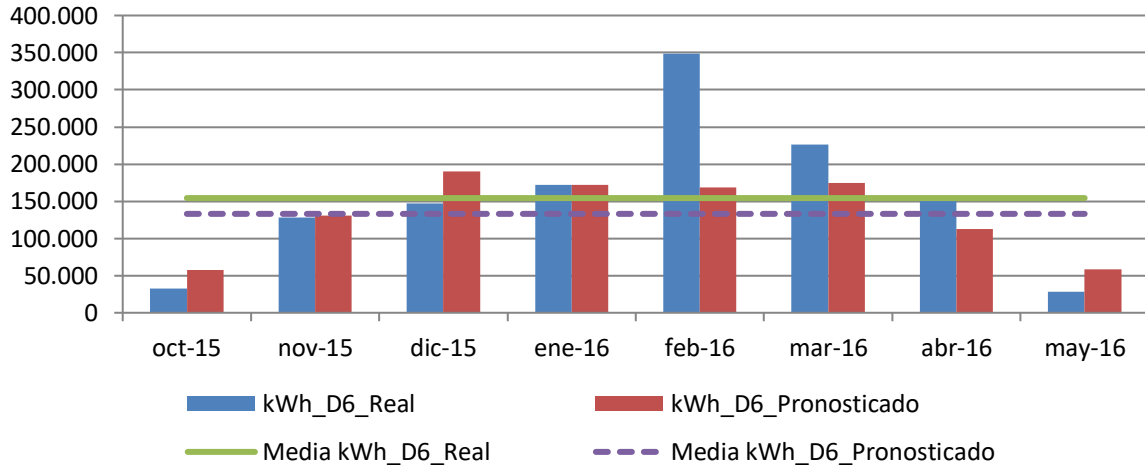


Figura 239. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D6

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 265

Tabla 265. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D6

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,207	8	,200*	,907	8	,332
kWh_pronosticado	,133	8	,200*	,965	8	,856

En la Tabla 266, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D6, en un 5,9 %

Tabla 266. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D6

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	139778,2500		8	93673,87798	33118,71717
kWh_pronosticado	131537,2500	-5,9%	8	75431,51419	26669,06760

La Tabla 267 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese -5,9% de diferencia

Tabla 267. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D6

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	8241,000	28972,866	10243,455	-15980,922	32462,922	,805	7	,448

En la Figura 240, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio D6, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

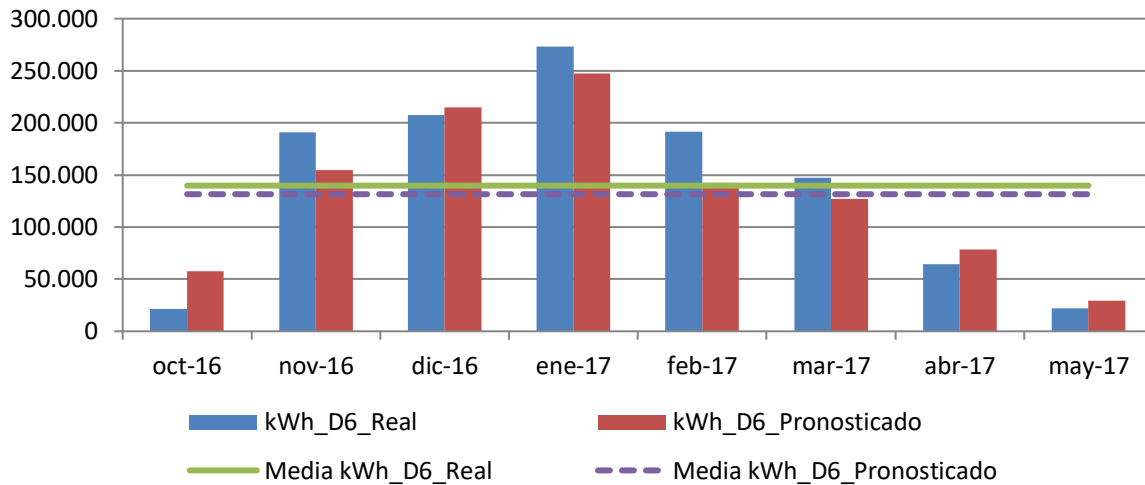


Figura 240. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D6

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 268

Tabla 268. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D6

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,202	8	,200	,922	8	,449
kWh_pronosticado	,220	8	,200	,860	8	,119

En la Tabla 269, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D6, en un 11,5 %

Tabla 269. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D6

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	162565,3750		8	107787,64840	38108,68856
kWh_pronosticado	143798,3750	-11,5%	8	71132,49239	25149,13387

La Tabla 270 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese -11,5% de diferencia

Tabla 270. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D6

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	18767,000	47550,996	16811,816	-20986,627	58520,627	1,116	7	,301

En la Figura 241, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D6, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

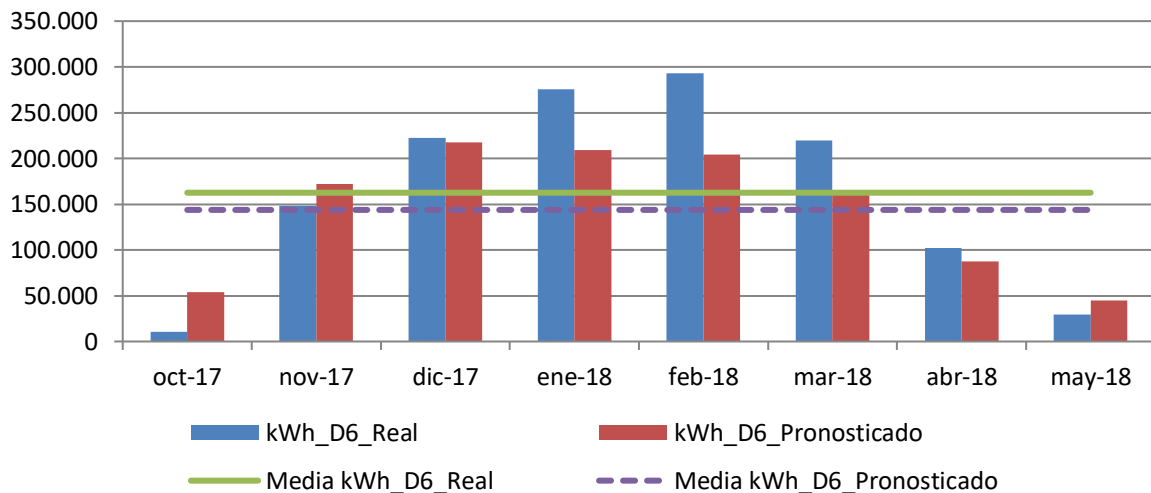


Figura 241. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D6

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 271

Tabla 271. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,140	24	,200*	,945	24	,214
kWh_pronosticado	,135	24	,200*	,942	24	,183

En la Tabla 272 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D6, en un 10,6 %

Tabla 272. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	152220,7729		24	97786,33520	19960,55209
kWh_pronosticado	136137,0471	-10,6%	24	64442,75573	13154,32243

La Tabla 273 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05).

Tabla 273. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6

	Diferencias relacionadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					
				Inferior	Superior				
kWh_real - kWh_pronosticado	16083,726	50672,492	10343,479	-5313,391	37480,843	1,555	23	,134	

AIV.6.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 274, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Al no existir diferencias significativas el consumo predicho o pronosticado se ha igualado al consumo real.

Tabla 274. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D6.

	kWh_D6 Gas Natural	kWh_D6 Biomasa	kWh_D6 Real Total	kWh_D6 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	32.180	32.180	32.180	0	772	772	8.109	7.337	7.337
nov-2015	0	128.080	128.080	128.080	0	3.074	3.074	32.276	29.202	36.539
dic-2015	0	147.210	147.210	147.210	0	3.533	3.533	37.097	33.564	70.103
ene-2016	0	172.470	172.470	172.470	0	4.139	4.139	43.462	39.323	109.426
feb-2016	101.645	247.290	348.935	348.935	25.615	5.935	31.550	87.932	56.382	165.808
mar-2016	15.254	211.400	226.654	226.654	3.844	5.074	8.918	57.117	48.199	214.008
abr-2016	2.159	148.810	150.969	150.969	544	3.571	4.116	38.044	33.929	247.936
may-2016	41	28.010	28.051	28.051	10	672	682	7.069	6.386	254.323
oct-2016	1.656	19.540	21.196	21.196	417	469	886	5.341	4.455	258.778
nov-2016	9.745	181.180	190.925	190.925	2.456	4.348	6.804	48.113	41.309	300.087
dic-2016	536	206.960	207.496	207.496	135	4.967	5.102	52.289	47.187	347.274
ene-2017	1.408	272.070	273.478	273.478	355	6.530	6.885	68.916	62.032	409.306
feb-2017	5.753	185.560	191.313	191.313	1.450	4.453	5.903	48.211	42.308	451.613
mar-2017	0	147.550	147.550	147.550	0	3.541	3.541	37.183	33.641	485.255
abr-2017	96	64.110	64.206	64.206	24	1.539	1.563	16.180	14.617	499.872
may-2017	832	21.230	22.062	22.062	210	510	719	5.560	4.840	504.712
oct-2017	0	10.750	10.750	10.750	0	258	258	2.709	2.451	507.163
nov-2017	3.312	144.720	148.032	148.032	835	3.473	4.308	37.304	32.996	540.159
dic-2017	0	222.510	222.510	222.510	0	5.340	5.340	56.073	50.732	590.892
ene-2018	81	275.170	275.251	275.251	20	6.604	6.625	69.363	62.739	653.630
feb-2018	0	293.190	293.190	293.190	0	7.037	7.037	73.884	66.847	720.478
mar-2018	0	219.610	219.610	219.610	0	5.271	5.271	55.342	50.071	770.549
abr-2018	0	102.000	102.000	102.000	0	2.448	2.448	25.704	23.256	793.805
may-2018	0	29.180	29.180	29.180	0	700	700	7.353	6.653	800.458

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 800 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio D6 y únicamente debido al uso de la biomasa en lugar del gas natural.

AIV.6.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 275 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 276, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 275. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03220			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02719			

Tabla 276. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D6

	kWh_D6 _Gas Natural	kWh_D6_ Biomasa	kWh_D6 Real	kWh_D6 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	32.180	32.180	32.180	0	875	875	1.200	325	325
nov-2015	0	128.080	128.080	128.080	0	3.482	3.482	4.777	1.295	1.620
dic-2015	0	147.210	147.210	147.210	0	4.003	4.003	5.491	1.488	3.109
ene-2016	0	172.470	172.470	172.470	0	4.689	4.689	5.278	588	3.697
feb-2016	101.645	247.290	348.935	348.935	3.110	6.724	9.834	10.677	843	4.540
mar-2016	15.254	211.400	226.654	226.654	467	5.748	6.215	6.936	721	5.261
abr-2016	2.159	148.810	150.969	150.969	66	4.046	4.112	4.620	507	5.768
may-2016	41	28.010	28.051	28.051	1	762	763	858	96	5.864
oct-2016	1.656	19.540	21.196	21.196	51	531	582	649	67	5.930
nov-2016	9.745	181.180	190.925	190.925	298	4.926	5.224	5.842	618	6.548
dic-2016	536	206.960	207.496	207.496	16	5.627	5.644	6.349	706	7.254
ene-2017	1.408	272.070	273.478	273.478	44	7.398	7.442	8.587	1.145	8.399
feb-2017	5.753	185.560	191.313	191.313	181	5.045	5.226	6.007	781	9.181
mar-2017	0	147.550	147.550	147.550	0	4.012	4.012	4.633	621	9.802
abr-2017	96	64.110	64.206	64.206	3	1.743	1.746	2.016	270	10.072
may-2017	832	21.230	22.062	22.062	26	577	603	693	89	10.161
oct-2017	0	10.750	10.750	10.750	0	292	292	338	45	10.206
nov-2017	3.312	144.720	148.032	148.032	104	3.935	4.039	4.648	609	10.816
dic-2017	0	222.510	222.510	222.510	0	6.050	6.050	6.987	937	11.752
ene-2018	81	275.170	275.251	275.251	3	7.482	7.485	9.248	1.764	13.516
feb-2018	0	293.190	293.190	293.190	0	7.972	7.972	9.851	1.879	15.395
mar-2018	0	219.610	219.610	219.610	0	5.971	5.971	7.379	1.408	16.803
abr-2018	0	102.000	102.000	102.000	0	2.773	2.773	3.427	654	17.457
may-2018	0	29.180	29.180	29.180	0	793	793	980	187	17.644
€ Total							99.829	117.473		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.7. Edificio D7. Edificio de Telecomunicaciones e Informática.

AIV.7.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 277

Tabla 277. Consumos térmicos del edificio D7

Consumos térmicos (kWh). D7	
oct-12	75.227
nov-12	163.403
dic-12	217.741
ene-13	231.815
feb-13	222.100
mar-13	178.875
abr-13	128.571
may-13	102.436
oct-13	65.408
nov-13	168.407
dic-13	272.681
ene-14	207.919
feb-14	185.496
mar-14	137.241
abr-14	74.250
may-14	63.862
Promedio	155.964
Total (oct-12-may-13)	1.320.168
Total (oct-13-may-14)	1.175.263
Total (oct-12-may-13)	2.495.431

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 278 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 15, obtenidos con datos cada 30 minutos). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 15 por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 279 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 278. Modelos de regresión del Edificio D7

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-6543,072	4358,239	-1,501	,155	-15890,564	2804,421
GD15_30min	733,335	18,306	40,059	,000	694,072	772,599

En la Figura 242 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

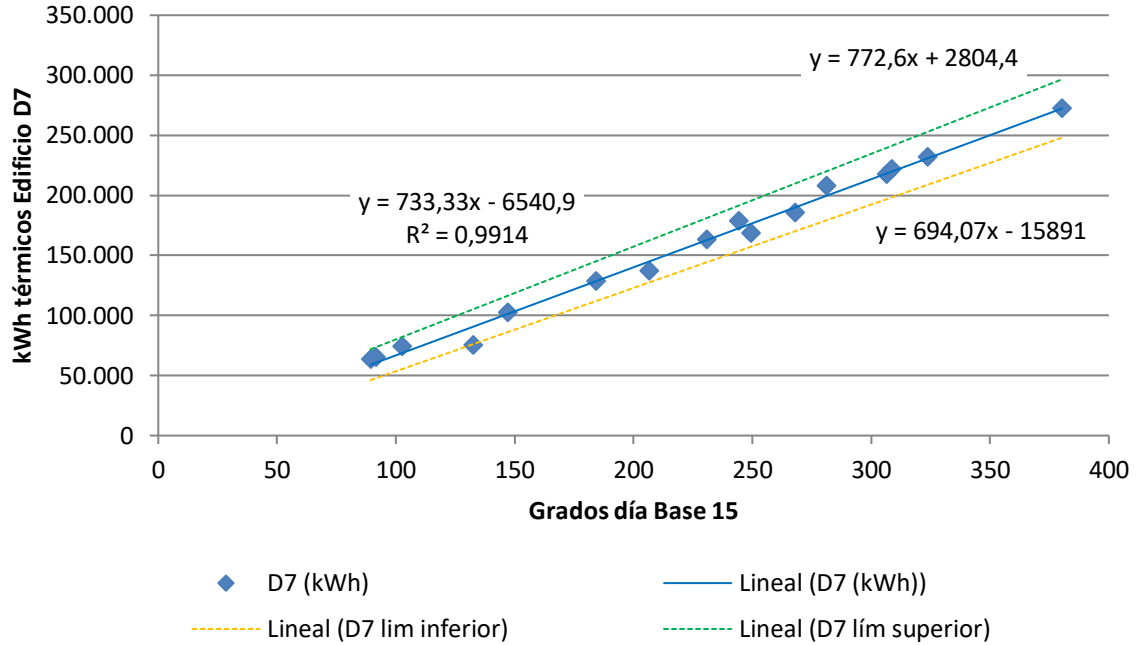


Figura 242. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D7

Tabla 279. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D7

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	,120	,907	,033
	GD15_24h	-,472	,645	-,130
	GD20_24h	,036	,972	,010
	T_med_30min_C	,333	,744	,092
	T_media_diurna_C	,002	,999	,000
	T_max_C	-,384	,708	-,106
	T_min_C	,824	,425	,223
	HR_%	,280	,784	,077
	HR_med_diurna_%	,230	,822	,064
1	HR_max_%	,415	,685	,114
	HR_min_%	,400	,696	,110
	Radiación_W/m2	,557	,587	,153
	V_Viento_m/s	,738	,474	,201
	V_viento_diurna_m/s	,639	,534	,175
	V_viento_nocturna_m/s	,865	,403	,233
	V_viento_max_m/s	,545	,595	,149
	Recorrido_viento_km/día	,740	,472	,201
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,015	,988	,004
	Horas insolación_h	,337	,742	,093

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D7, se resumen en la Tabla 280

Tabla 280. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D7

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,996	,991	,991	6371,70775

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,996, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 99,1% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 6.371 kWh, lo que representa un 4,1% del promedio de los consumos que fue de 155.964 kWh.

AIV.7.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 278, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D7) y la independiente (GD15_30min). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 15, calculados con datos cada 30 minutos.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 281, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15 poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 281. Prueba de normalidad para el edificio D7

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D7	,139	16	,200*	,942	16	,372
GD15_30min	,109	16	,200*	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,693.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629], como el valor del estadístico 1,693 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 243 y Figura 244, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Grados Día Base 15) y los residuos un coeficiente de determinación de $-2,22 \times 10^{-16}$, también prácticamente nulo; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

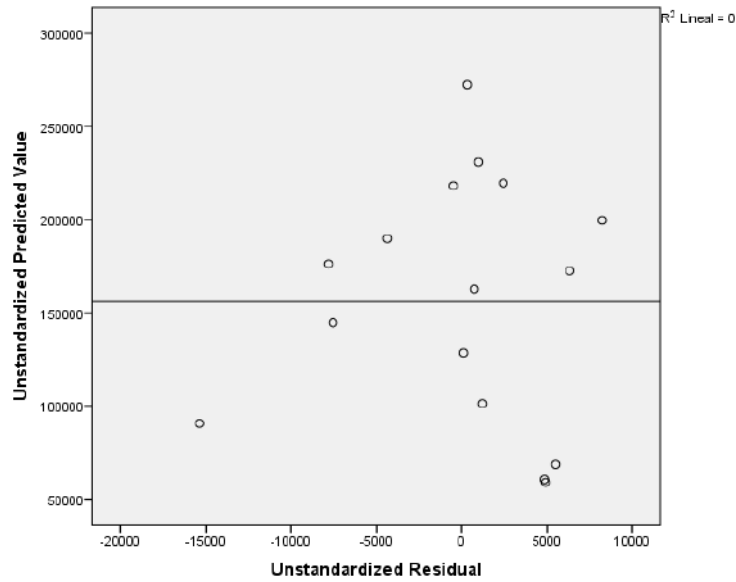


Figura 243. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D7

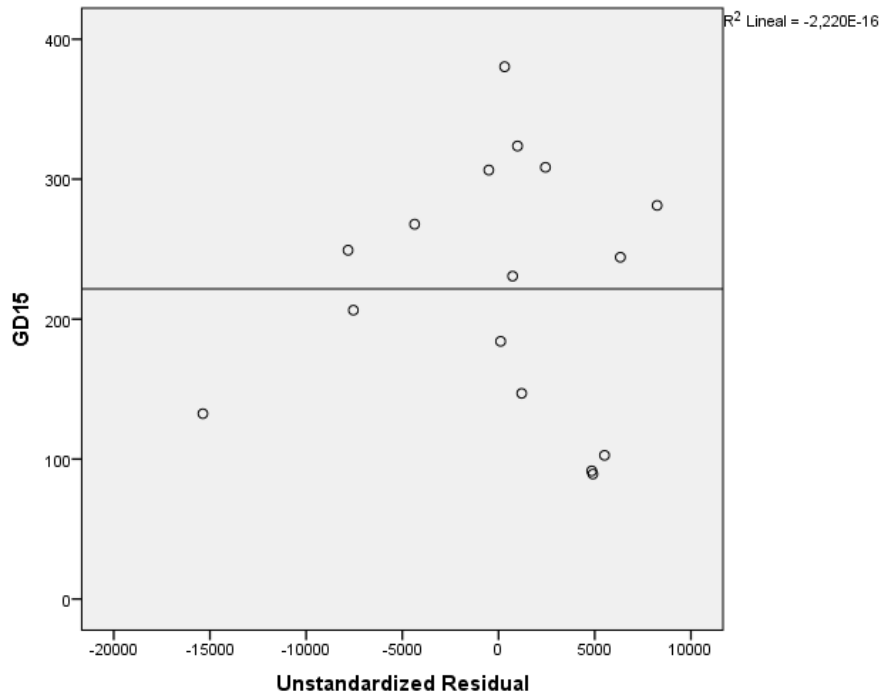


Figura 244. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D7

AIV.7.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D7.

$$\text{kWh_D7_Pronosticado} = -6543,072 + 733,335 \times \text{GD15_30min}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 282, donde “kWh_D7_Real”, representa el consumo real, “kWh_D7_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 282. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D7.

	GD15	kWh_D7_Real	kWh_D7_Pronosticado
oct-15	97,04	22.220	64.622
nov-15	208,36	128.080	146.256
dic-15	300,09	124.770	213.527
ene-16	271,93	163.370	192.875
feb-16	266,36	297.336	188.790
mar-16	276,34	200.359	196.105
abr-16	181,04	139.890	126.222
may-16	99,34	25.190	66.303
oct-16	97,34	33.434	64.838
nov-16	245,69	175.576	173.630
dic-16	337,25	145.836	240.775
ene-17	386,98	258.264	277.246
feb-17	226,76	182.550	159.748
mar-17	203,17	150.896	142.448
abr-17	129,72	55.650	88.586
may-17	54,86	14.320	33.686
oct-17	92,31	9.884	61.154
nov-17	271,60	124.350	192.632
dic-17	341,26	173.018	243.712
ene-18	327,94	188.888	233.949
feb-18	321,27	245.226	229.052
mar-18	255,02	217.314	180.472
abr-18	143,31	99.014	98.548
may-18	78,41	23.570	2.392

AIV.7.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 283

Tabla 283. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D7

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,193	8	,200*	,933	8	,548
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,135

En la Tabla 284, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D7, en un 8,5 %

Tabla 284. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D7

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	137651,8750		8	89703,78958	31715,07895
kWh_pronosticado	149337,5000	8,5%	8	59009,40693	20862,97590

La Tabla 285 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $>0,05$), a pesar de existir ese 8,5% de diferencia

Tabla 285. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D7

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Diferencias relacionadas				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-11685,625	57893,547	20468,460	-60085,842	36714,592	-,571	7	,586

En la Figura 245, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D7, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

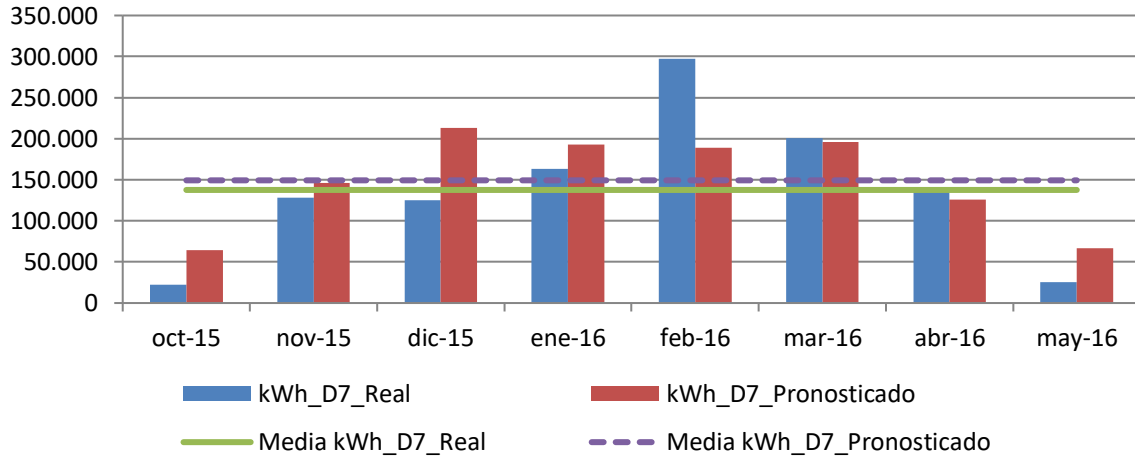


Figura 245. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D7

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 286

Tabla 286. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D7

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,213	8	,200	,931	8	,524
kWh_pronosticado	,133	8	,200	,965	8	,856

En la Tabla 287, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D7, en un 16,2 %

Tabla 287. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D7

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	127065,7500		8	84636,74342	29923,60760
kWh_pronosticado	147619,6250	16,2%	8	84219,05197	29775,93138

La Tabla 288 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese 16,2% de diferencia

Tabla 288. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D7

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-20553,875	35926,822	12702,050	-50589,450	9481,700	-1,618	7	,150

En la Figura 246, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio D7, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

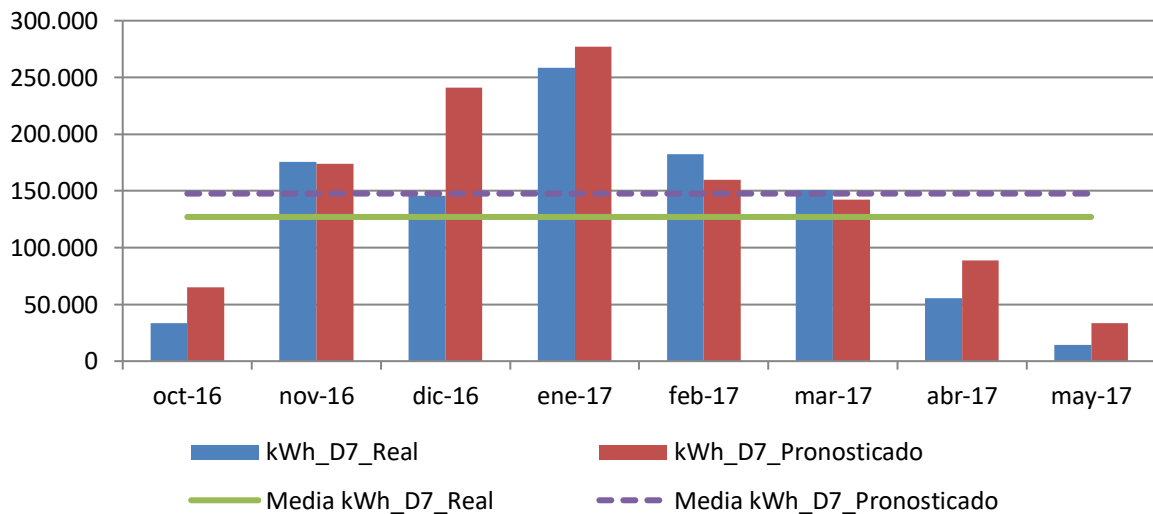


Figura 246. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D7

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 289

Tabla 289. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D7

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,169	8	,200*	,936	8	,569
kWh_pronosticado	,235	8	,200*	,883	8	,201

En la Tabla 290, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D7, en un 14,9 %

Tabla 290. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D7

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	135158,0000		8	86811,39152	30692,46181
kWh_pronosticado	155238,8750	14,9%	8	90185,60041	31885,42481

La Tabla 291 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese 14,9% de diferencia

Tabla 291. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D7

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-20080,875	43360,455	15330,236	-56331,123	16169,373	-1,310	7	,232

En la Figura 247, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D7, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

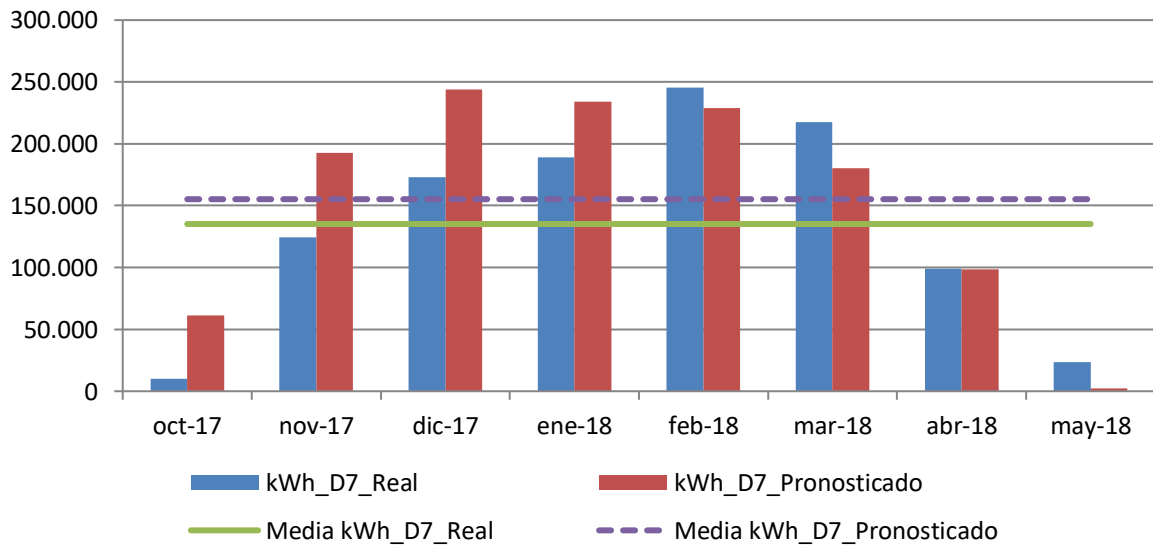


Figura 247. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D7

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 292

Tabla 292. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,135	24	,200	,945	24	,213
kWh_pronosticado	,119	24	,200	,957	24	,381

En la Tabla 293 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D7, en un 13,1 %

Tabla 293. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	133291,9913		24	83331,39869	17009,95053
kWh_pronosticado	150732,0646	13,1%	24	75531,28641	15417,75928

La Tabla 294 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05).

Tabla 294. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-17440,073	44748,550	9134,259	-36335,729	1455,582	-1,909	23	,069

AIV.7.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 295, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Al no existir diferencias significativas el consumo predicho o pronosticado se ha igualado al consumo real

Tabla 295. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D7.

	kWh_D7 Gas Natural	kWh_D7 Biomasa	kWh_D7 Real Total	kWh_D7 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	22.220	22.220	22.220	0	533	533	5.599	5.066	5.066
nov-2015	0	128.080	128.080	128.080	0	3.074	3.074	32.276	29.202	34.268
dic-2015	0	124.770	124.770	124.770	0	2.994	2.994	31.442	28.448	62.716
ene-2016	0	163.370	163.370	163.370	0	3.921	3.921	41.169	37.248	99.964
feb-2016	60.146	237.190	297.336	297.336	15.157	5.693	20.849	74.929	54.079	154.044
mar-2016	26.749	173.610	200.359	200.359	6.741	4.167	10.907	50.490	39.583	193.627
abr-2016	2.760	137.130	139.890	139.890	696	3.291	3.987	35.252	31.266	224.892
may-2016	170	25.020	25.190	25.190	43	600	643	6.348	5.705	230.597
oct-2016	2.264	31.170	33.434	33.434	571	748	1.319	8.425	7.107	237.704
nov-2016	496	175.080	175.576	175.576	125	4.202	4.327	44.245	39.918	277.622
dic-2016	536	145.300	145.836	145.836	135	3.487	3.622	36.751	33.128	310.750
ene-2017	3.984	254.280	258.264	258.264	1.004	6.103	7.107	65.083	57.976	368.726
feb-2017	760	181.790	182.550	182.550	192	4.363	4.554	46.003	41.448	410.174
mar-2017	536	150.360	150.896	150.896	135	3.609	3.744	38.026	34.282	444.456
abr-2017	0	55.650	55.650	55.650	0	1.336	1.336	14.024	12.688	457.145
may-2017	0	14.320	14.320	14.320	0	344	344	3.609	3.265	460.410
oct-2017	384	9.500	9.884	9.884	97	228	325	2.491	2.166	462.576
nov-2017	1.000	123.350	124.350	124.350	252	2.960	3.212	31.336	28.124	490.699
dic-2017	2.088	170.930	173.018	173.018	526	4.102	4.629	43.601	38.972	529.671
ene-2018	688	188.200	188.888	188.888	173	4.517	4.690	47.600	42.910	572.581
feb-2018	3.376	241.850	245.226	245.226	851	5.804	6.655	61.797	55.142	627.723
mar-2018	4.304	213.010	217.314	217.314	1.085	5.112	6.197	54.763	48.566	676.289
abr-2018	384	98.630	99.014	99.014	97	2.367	2.464	24.952	22.488	698.777
may-2018	0	23.570	23.570	23.570	0	566	566	5.940	5.374	704.151

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 704 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio D7, por el cambio de gas natural a biomasa.

AIV.7.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 296 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 297, muestran el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 296. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03220			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02719			

Tabla 297. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D7

	kWh_D7 _Gas Natural	kWh_D7_ Biomasa	kWh_D7 Real	kWh_D7 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	22.220	22.220	22.220	0	604	604	829	225	225
nov-2015	0	128.080	128.080	128.080	0	3.482	3.482	4.777	1.295	1.520
dic-2015	0	124.770	124.770	124.770	0	3.392	3.392	4.654	1.261	2.781
ene-2016	0	163.370	163.370	163.370	0	4.442	4.442	4.999	557	3.338
feb-2016	60.146	237.190	297.336	297.336	1.840	6.449	8.290	9.098	809	4.147
mar-2016	26.749	173.610	200.359	200.359	819	4.720	5.539	6.131	592	4.739
abr-2016	2.760	137.130	139.890	139.890	84	3.729	3.813	4.281	468	5.206
may-2016	170	25.020	25.190	25.190	5	680	686	771	85	5.292
oct-2016	2.264	31.170	33.434	33.434	69	848	917	1.023	106	5.398
nov-2016	496	175.080	175.576	175.576	15	4.760	4.776	5.373	597	5.995
dic-2016	536	145.300	145.836	145.836	16	3.951	3.967	4.463	495	6.491
ene-2017	3.984	254.280	258.264	258.264	125	6.914	7.039	8.110	1.071	7.561
feb-2017	760	181.790	182.550	182.550	24	4.943	4.967	5.732	765	8.326
mar-2017	536	150.360	150.896	150.896	17	4.088	4.105	4.738	633	8.959
abr-2017	0	55.650	55.650	55.650	0	1.513	1.513	1.747	234	9.194
may-2017	0	14.320	14.320	14.320	0	389	389	450	60	9.254
oct-2017	384	9.500	9.884	9.884	12	258	270	310	40	9.294
nov-2017	1.000	123.350	124.350	124.350	31	3.354	3.385	3.905	519	9.813
dic-2017	2.088	170.930	173.018	173.018	66	4.648	4.713	5.433	720	10.533
ene-2018	688	188.200	188.888	188.888	23	5.117	5.140	6.347	1.206	11.739
feb-2018	3.376	241.850	245.226	245.226	113	6.576	6.689	8.240	1.550	13.290
mar-2018	4.304	213.010	217.314	217.314	145	5.792	5.936	7.302	1.365	14.655
abr-2018	384	98.630	99.014	99.014	13	2.682	2.695	3.327	632	15.287
may-2018	0	23.570	23.570	23.570	0	641	641	792	151	15.438
€ Total							87.392	102.830		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.8. Edificio D8. Edificio de Química Fina y Materiales Avanzados (QUIFIMA).

AIV.8.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 298

Tabla 298. Consumos térmicos del edificio D8

Consumos térmicos (kWh). D8	
oct-12	28.190
nov-12	44.053
dic-12	58.473
ene-13	61.638
feb-13	71.642
mar-13	64.884
abr-13	45.407
may-13	20.377
oct-13	21.697
nov-13	32.562
dic-13	76.564
ene-14	67.774
feb-14	75.981
mar-14	50.114
abr-14	20.141
may-14	18.148
Promedio	47.353
Total (oct-12-may-13)	394.664
Total (oct-13-may-14)	362.981
Total (oct-12-may-13)	757.645

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Utilizando el programa SPSS V.20, se obtiene el modelo de regresión mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 299 para el edificio D8, el método ofrece dos modelos de regresión, uno con una sola variable (Temperatura media) y otro con dos variables (Temperatura media y velocidad del viento diurna).

El primer modelo (modelo de regresión lineal simple) fue construido con un solo paso, incluyendo la Temperatura media por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000) que indica la probabilidad de cometer un error al rechazar que la pendiente de la variable "Temperatura media" es igual a cero, por lo que se acepta que esa variable forma parte del modelo con una pendiente (B= -5414,103).

El segundo modelo (modelo de regresión lineal múltiple) se construyó en dos pasos, primero entró la Temperatura media y luego entró la siguiente variable que rechazase la Hipótesis nula, (las variables que rechazan la hipótesis nula son las que presentan una pendiente estadísticamente significativa y su probabilidad de cometer el error de rechazar H_0 es $\leq 0,05$, para un nivel de confianza del 95 %), esta variable fue la “velocidad de viento diurna”, por presentar un valor de Sig = 0,011, el resto de las variables como se observa en la Tabla 300 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig $>0,05$.

Tabla 299. Modelos de regresión del Edificio D8

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B		
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	91484,519	5982,836	15,291	,000	78652,611	104316,426
	T_med	-5414,103	675,136	-8,019	,000	-6862,126	-3966,079
2	(Constante)	63357,055	10611,448	5,971	,000	40432,415	86281,695
	T_med	-4991,184	559,145	-8,926	,000	-6199,144	-3783,224
	V_viento_diurna_m/s	8950,190	3012,722	2,971	,011	2441,600	15458,779

En la Figura 248 se representa el modelo 1 de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

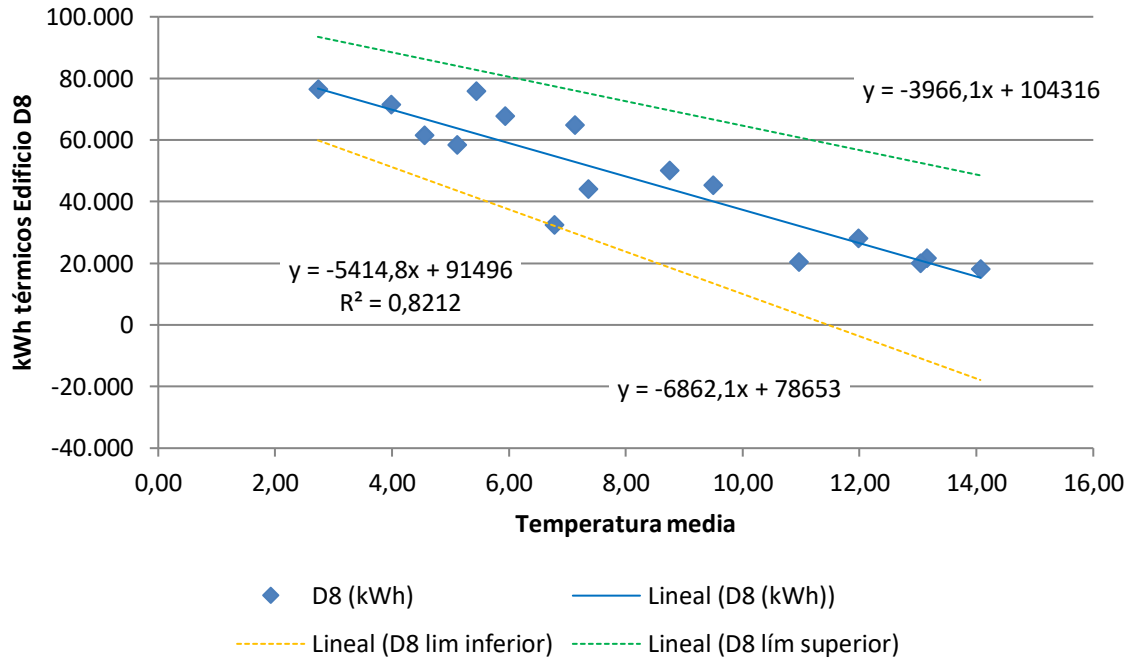


Figura 248. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D8

En la Figura 249 se representa el modelo 2 de regresión lineal múltiple para el edificio D8

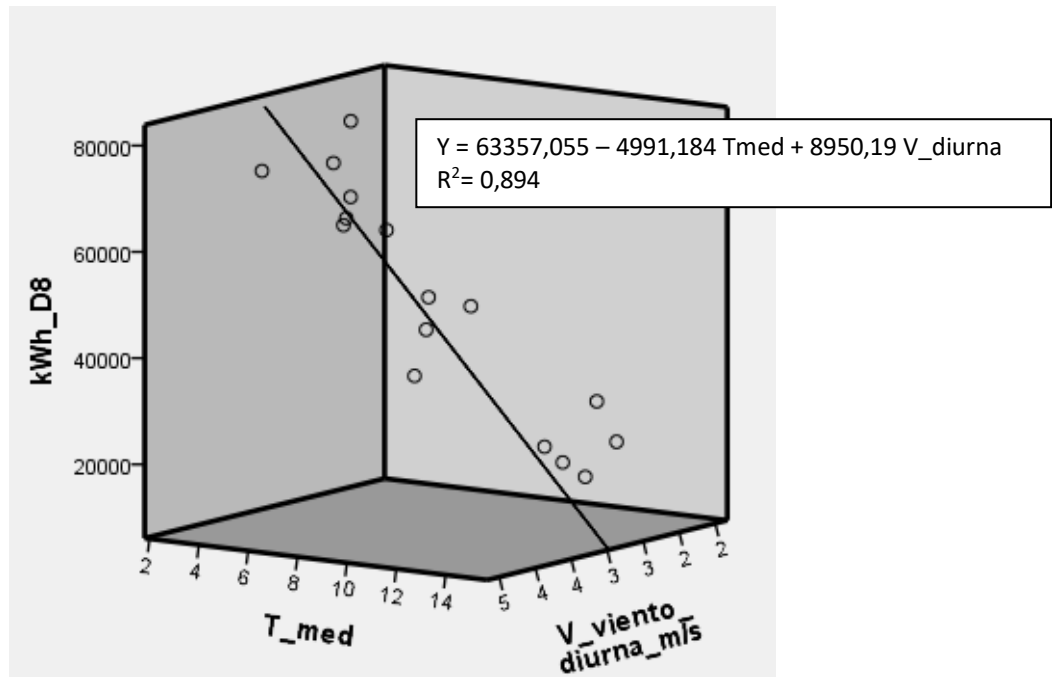


Figura 249. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio D8

Los valores de la columna t se obtienen dividiendo el valor de los coeficientes no estandarizados entre sus errores típicos, este estadístico tiende a ser mayor en valor absoluto cuando la hipótesis alternativa es verdadera, es decir cuando la variable posee una pendiente significativa en el modelo de regresión.

En las Tabla 299 y Tabla 300, el estadístico t y su nivel crítico (Sig), permiten contrastar la hipótesis nula consistente en que el coeficiente de regresión vale cero en el modelo; a mayor valor de t, mayor peso en el modelo.

El valor “Sig” corresponde a los valores de probabilidad de los valores de t, es la probabilidad de obtener el valor de t si la hipótesis nula fuera cierta, cuando son $\leq 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las pendientes son distintas de cero, luego si $\text{Sig} > 0,05$ se acepta la hipótesis nula de que la pendiente de la variable independiente en el modelo de regresión es igual a cero, no cumpliendo el criterio de entrada en el modelo.

La correlación parcial, que aparece en la Tabla 300 estudia la relación existente entre dos variables cuantitativas cuando se controla o elimina el efecto de terceras variables, en el modelo de regresión lineal, a mayor valor absoluto, mayor relación entre la variable dependiente y la independiente.

Tabla 300. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D8

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,320	,754	-,088
	GD20_30min	-,541	,597	-,149
	GD15_24h	-,380	,710	-,105
	GD20_24h	-,654	,524	-,179
	T_media_diurna	-,052	,959	-,014
	T_max	,142	,889	,039
	T_min	,044	,966	,012
	HR_%	-,491	,631	-,135
	HR_med_diurna_%	-,321	,754	-,089
1	HR_max_%	-,914	,378	-,246
	HR_min_%	-,579	,572	-,159
	Radiación_W/m2	,408	,690	,113
	V_Viento_m/s	2,851	,014	,620
	V_viento_diurna_m/s	2,971	,011	,636
	V_viento_nocturna_m/s	2,513	,026	,572
	V_viento_max_m/s	2,682	,019	,597
	Recorrido_viento_km/día	2,852	,014	,620
	Precipitación_acumulada_mes_mm	1,543	,147	,393
	Horas insolación_h	,629	,540	,172
	GD15_30min	,781	,450	,220
	GD20_30min	,346	,735	,099
	GD15_24h	,873	,400	,244
	GD20_24h	,223	,827	,064
	T_media_diurna	-,177	,862	-,051
	T_max	,563	,584	,160
	T_min	,279	,785	,080
	HR_%	,575	,576	,164
2	HR_med_diurna_%	,552	,591	,157
	HR_max_%	,604	,557	,172
	HR_min_%	,144	,888	,041
	Radiación_W/m2	-,614	,551	-,175
	V_Viento_m/s	-,486	,636	-,139
	V_viento_nocturna_m/s	-,700	,497	-,198
	V_viento_max_m/s	-1,062	,309	-,293
	Recorrido_viento_km/día	-,474	,644	-,136
	Precipitación_acumulada_mes_mm	1,080	,301	,298
	Horas insolación_h	-,443	,665	-,127

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D8, se resumen en la Tabla 301

Tabla 301. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D8

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,906 ^a	,821	,808	9388,55632
2	,945 ^b	,894	,877	7519,33256

Se observa como el modelo 1 de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) inferior en valor absoluto al modelo 2 de regresión lineal múltiple, este coeficiente indica que las variables de los modelos están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce en ambos modelos es inversa, al aumentar el valor de las variables independientes disminuye el valor de la variable dependiente que es el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo 1 se podría explicar el 82,1% de los datos reales obtenidos y el modelo 2, el porcentaje de aciertos o de explicación asciende al 89,4%, ambos aceptando un error del 5%.

El coeficiente de determinación corregido (R^2 corregido) que tiene en cuenta el número de variables independientes incluidas en el modelo y el tamaño de la muestra, reduce el coeficiente de determinación al 80,8% en el modelo 1 y al 87,7 % en el modelo 2.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 9.388 kWh para el modelo 1 y de 7.519 kWh para el modelo 2, lo que representa un 19,8% del promedio de los consumos que fue de 47.353 kWh para el modelo 1 y del 15,9% para el modelo 2. Por tanto aunque el modelo 2 es más preciso, también es aceptado el modelo 1 para la representación de la línea base de los consumos térmicos del edificio D8.

AIV.8.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 299, la pendiente (B), para el modelo 1, obtuvo un valor de $Sig = 0,000$, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D8) y la independiente (Temperatura media). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media.

Para el modelo 2, según la misma Tabla 299, las pendientes de las dos variables introducidas en el modelo obtuvieron unos valores de $Sig = 0,000$ para la Temperatura media y de $0,011$ para la Velocidad del viento diurna, ambos $\leq 0,05$, lo que nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D8) y las independientes (Temperatura media y velocidad del viento diurna). Al ser el valor de la primera pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media y de la segunda pendiente positiva, indica relación directa entre el consumo y la velocidad del viento diurna.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de las variables independientes (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal, luego si la probabilidad del estadístico del test es \leq al nivel de significación $0,05$, la hipótesis nula es rechazada y sólo aceptaremos que las variables se distribuyen según una Normal cuando el valor de la significación sea mayor que $0,05$ (valor de la significación $> 0,05$) en el Test de Shapiro Wilk.

La Tabla 302, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio D8), como las variables independientes: Temperatura media y velocidad de viento nocturna poseen una $Sig > 0,05$, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 302. Prueba de normalidad para el edificio D8

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D8	,135	16	,200	,903	16	,090
T_med	,150	16	,200	,942	16	,376
V_viento_nocturna_m/s	,156	16	,200	,948	16	,453

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo $[dU, 4-dU]$, de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es:

- para el modelo 1 de 1,641 (Regresión lineal simple)
- para el modelo 2 de 2,702 (Regresión lineal múltiple)

En el modelo 1, $n = 16$ y $k = 1$, según la Tabla 3, el valor $dU = 1,371$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,371, 2,629]$, como el valor del estadístico 1,641 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

En el modelo 2, $n = 16$ y $k = 2$, según la Tabla 3, el valor $dU = 1,539$ y $dL = 0,982$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,539, 2,461]$.

Los intervalos $[0, 0,982]$ y $[3,018, 4]$ indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas $[0,982, 1,539]$ y $[2,461, 3,018]$ son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 2,702 está dentro del último intervalo no concluyente, se comprueba la ausencia de autocorrelación, mediante el gráfico de residuos frente al tiempo.

La Figura 250, muestra que la relación entre los residuos y el tiempo, posee un coeficiente de determinación = 0,000964, prácticamente nulo, por lo que se acepta la ausencia de autocorrelación.

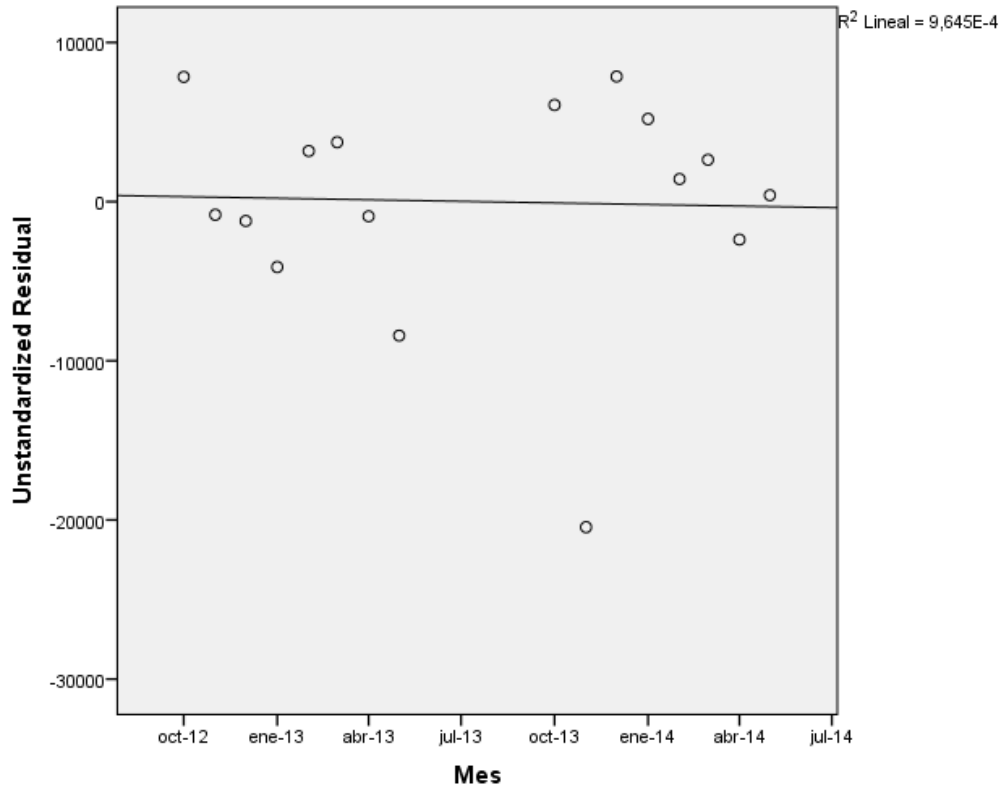


Figura 250. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio D8. Modelo 2

- **Homocedasticidad de la varianza.** Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la(s) variable(s) independiente(s) (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.

Esta condición indica que el error es una variable aleatoria que tomará un valor distinto cada vez que se ejecute el modelo y que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos.

La forma de comprobar la homocedasticidad es verificando si el coeficiente de determinación R^2 , que indica la proporción de la variable dependiente (Y o consumo del edificio) que puede ser explicada por la variación de las variables independientes (las variables climatológicas), en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variables independientes es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Para el modelo 1. Regresión lineal simple, las Figura 251 y Figura 252, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación también de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

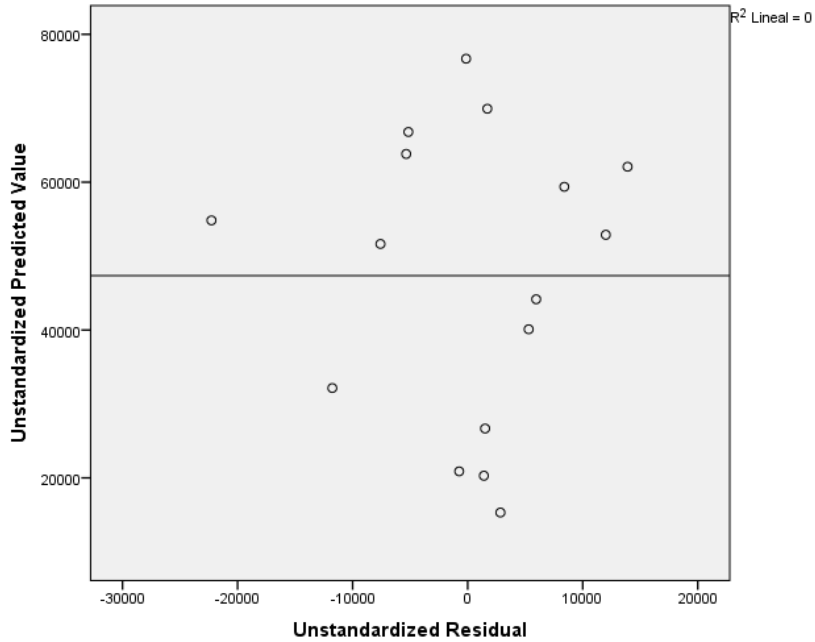


Figura 251. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D8. Modelo 1

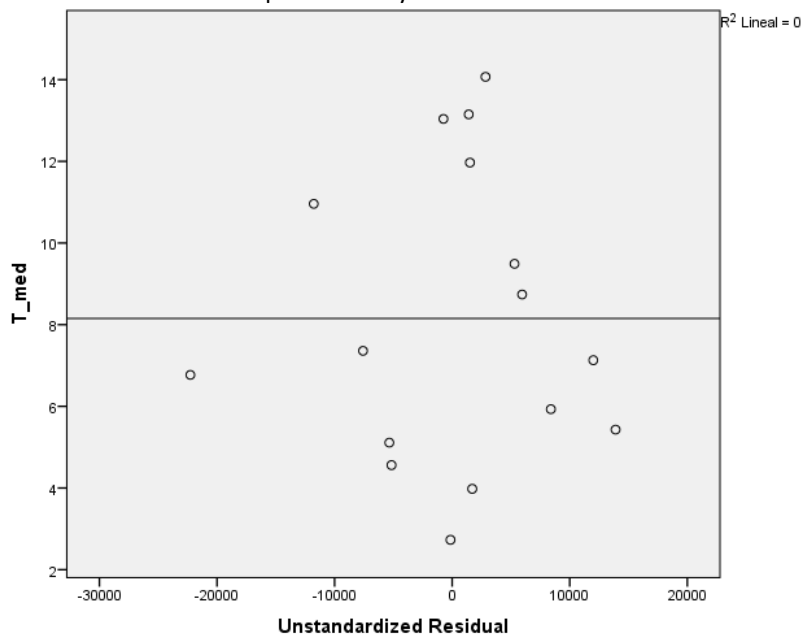


Figura 252. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D8. Modelo 1

Para el modelo 2. Regresión lineal múltiple, las Figura 253, Figura 254 y Figura 255, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = $1,11 \times 10^{-16}$, cercano a cero, entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación, también de $1,11 \times 10^{-16}$, también prácticamente nulo y entre la variable independiente (velocidad del viento diurna) y los residuos de $-2,22 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

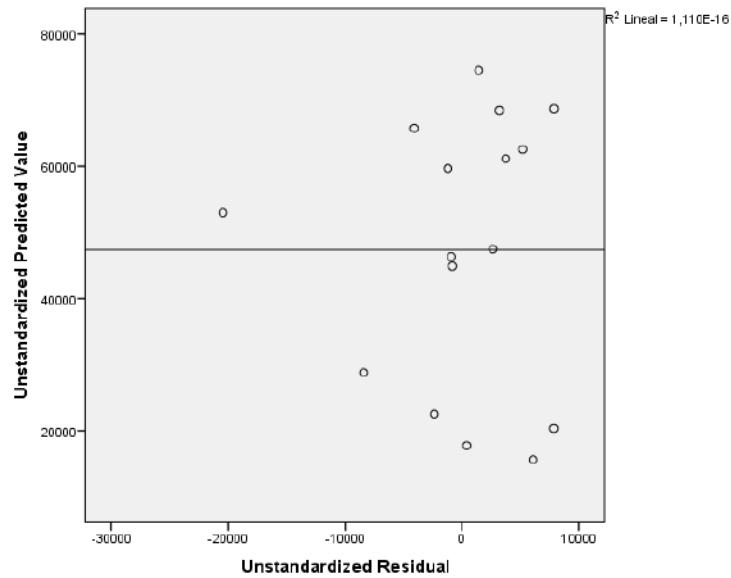


Figura 253. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D8. Modelo 2

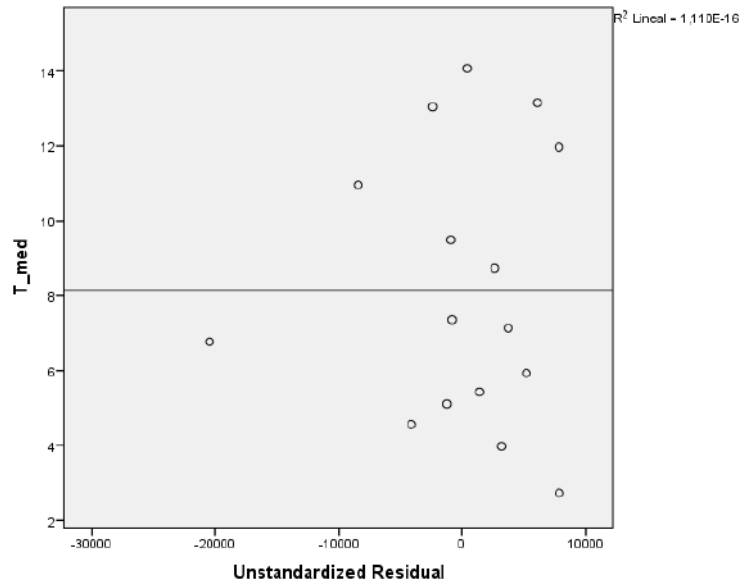


Figura 254. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D8. Modelo 2

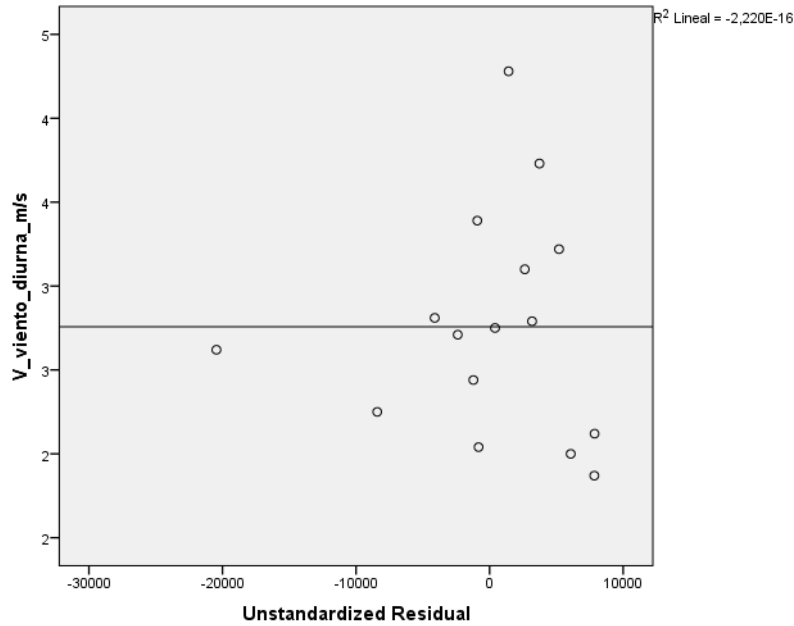


Figura 255. Relación entre la velocidad del viento nocturna y los residuos. Edificio D8. Modelo 2

- **Cuando la regresión es lineal múltiple, se comprueba la falta de multicolinealidad o No-Colinealidad entre las variables independientes, es decir que las variables que forman parte del modelo no están correlacionadas entre ellas.**

El problema de la multicolinealidad es moderado cuando el índice de condición toma un valor entre 20 y 30 y es grave cuando el índice de condición toma un valor superior a 30. El número de condición mide la sensibilidad de las estimaciones mínimo-cuadráticas ante pequeños cambios en los datos a mayor valor más correlación entre las variables.

La Tabla 303, muestra los índices de condición de las variables del modelo de regresión múltiple, ninguno de ellos supera el valor 20, por lo que no existen evidencias de correlación entre las variables independientes del modelo

Tabla 303. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio D8

Modelo	Dimensión	Índice de condición
2	1	1,000
	2	4,578
	3	12,127

En cuanto a los índices estadísticos de colinealidad como son los niveles Tolerancia y su inverso que son los Factores de Inflación de la Varianza (FIV). El nivel de tolerancia se

obtiene restando a 1 el coeficiente de determinación (R^2). Como se observa en la Figura 207, el coeficiente de determinación entre las dos variables independientes es $R^2 = 0,065$, luego la Tolerancia es $T = 1 - R^2 = 1 - 0,065 = 0,935$ y $FIV = 1/T = 1,069$

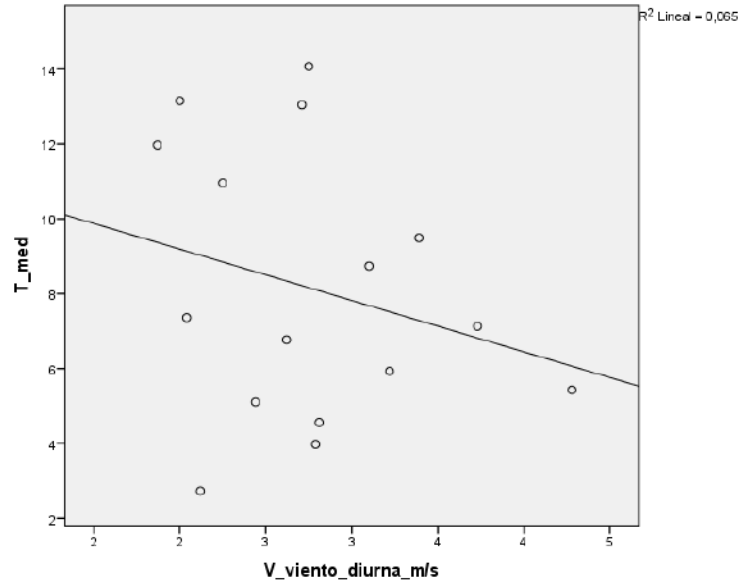


Figura 256. Gráfico de la temperatura media y la velocidad del viento diurna.

Si la Tolerancia toma un valor próximo a la unidad no existirá colinealidad (a mayor tolerancia menor colinealidad), por lo que se podrá deducir que no existe multicolinealidad entre las variables independientes. Pueden existir problemas de colinealidad si algún FIV es superior a 10, que corresponde con un R^2 de 0,9 y una Tolerancia menor a 0,1

La Tabla 304, muestra los estadísticos de colinealidad y se observa como la Tolerancia toma valores de 0,935, próxima a 1 y los valores de FIV permanecen por debajo de 10, por lo que no existen problemas de colinealidad entre la temperatura media y la velocidad del viento diurna.

Tabla 304. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio D8

Modelo		Tolerancia	FIV
1	T_med	1,000	1,000
2	T_med	,935	1,069
	V_viento_diurna_m/s	,935	1,069

AIV.8.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se aceptan los modelos de línea base encontrados para modelizar el consumo del Edificio D8.

Modelo 1:

$$\text{kWh}_{D8} = 91.484,519 - 5.414,103 \times T_{med}$$

Modelo 2:

$$\text{kWh}_{D8} = 63.357,055 - 4.991,184 \times T_{med} + 8.950,19 \times V_{viento_diurna}$$

Con estos modelos se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 305, donde “kWh_D8”, representa el consumo real, “kWh_D8_M1”, el consumo pronosticado con el Modelo 1 y “kWh_D8_M2”, el consumo pronosticado con el Modelo 2.

Tabla 305. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D8.

	T_media	V_viento_nocturna	kWh_D8	kWh_D8_M1	kWh_D8_M2	kWh_D8_M1 - kWh_D8_M2
oct-15	12,82	1,72	8.364	22.083	14.797	7.286
nov-15	8,30	1,25	48.422	46.535	33.062	13.473
dic-15	5,33	0,97	52.355	62.634	45.474	17.160
ene-16	6,23	2,53	56.577	57.735	54.923	2.813
feb-16	5,82	3,30	93.692	59.995	63.891	-3.896
mar-16	6,14	2,66	65.365	58.226	56.470	1.757
abr-16	9,10	2,67	43.085	42.213	41.822	391
may-16	13,11	2,13	8.549	20.483	16.960	3.523
oct-16	13,48	1,08	7.817	18.501	5.703	12.798
nov-16	6,90	1,61	63.818	54.118	43.290	10.829
dic-16	4,12	0,99	84.992	69.168	51.688	17.480
ene-17	2,52	1,31	96.064	77.862	62.541	15.321
feb-17	6,96	2,79	66.871	53.804	53.578	226
mar-17	9,21	2,69	61.592	41.624	41.441	183
abr-17	12,58	2,53	28.173	23.391	23.200	191
may-17	16,69	2,07	9.028	1.141	-1.368	2.509
oct-17	14,71	1,50	5.806	11.836	3.312	8.524
nov-17	6,09	1,42	64.362	58.511	45.665	12.845
dic-17	3,99	2,28	111.550	69.875	63.880	5.996
ene-18	4,42	2,23	91.069	67.551	61.226	6.325
feb-18	3,53	2,42	95.311	72.380	67.366	5.014
mar-18	6,80	4,38	77.654	54.655	68.583	-13.928
abr-18	11,15	2,77	36.472	31.137	32.522	-1.385
may-18	14,03	2,00	15.896	15.537	11.231	4.306

El dato del consumo de mayo de 2017, en el modelo 2, será anulado puesto que la estimación arroja un valor negativo. En la mayoría de los meses los consumos pronosticados con el modelo 1, son superiores a los pronosticados con el Modelo 2.

AIV.8.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando el contraste de hipótesis para la comparación de medias para muestras relacionadas, es decir la prueba paramétrica “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas. En caso contrario no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyendo que las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas y no van más allá de lo que sería esperable por azar, todo ello con la aceptación de un riesgo de error del 5%, o lo que es lo mismo un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 306

Tabla 306. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D8

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,194	8	,200	,926	8	,481
kWh_pronost_M1	,252	8	,144	,839	8	,073
kWh_pronost_M2	,157	8	,200	,927	8	,492

En la Tabla 307, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D8; un 1,7 % inferior con la estimación del Modelo 1 y un 13,0 % inferior con la estimación del Modelo 2

Tabla 307. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D8

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par	kWh_real	47051,1250		8	28350,76048	10023,50749
1	kWh_pronost_M1	46238,0000	-1,7%	8	16890,61405	5971,73387
Par	kWh_real	47051,1250		8	28350,76048	10023,50749
2	kWh_pronost_M2	40924,8750	-13,0%	8	18147,59556	6416,14394

La Tabla 308 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1, ni con el Modelo 2 (sig > 0,05).

Tabla 308. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D8

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	813,125	15227,395	5383,697	-11917,296	13543,546	,151	7	,884
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	6126,250	12344,520	4364,447	-4194,027	16446,527	1,404	7	,203

En la Figura 257, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D8, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada no son estadísticamente significativas para un nivel de confianza del 95 %.

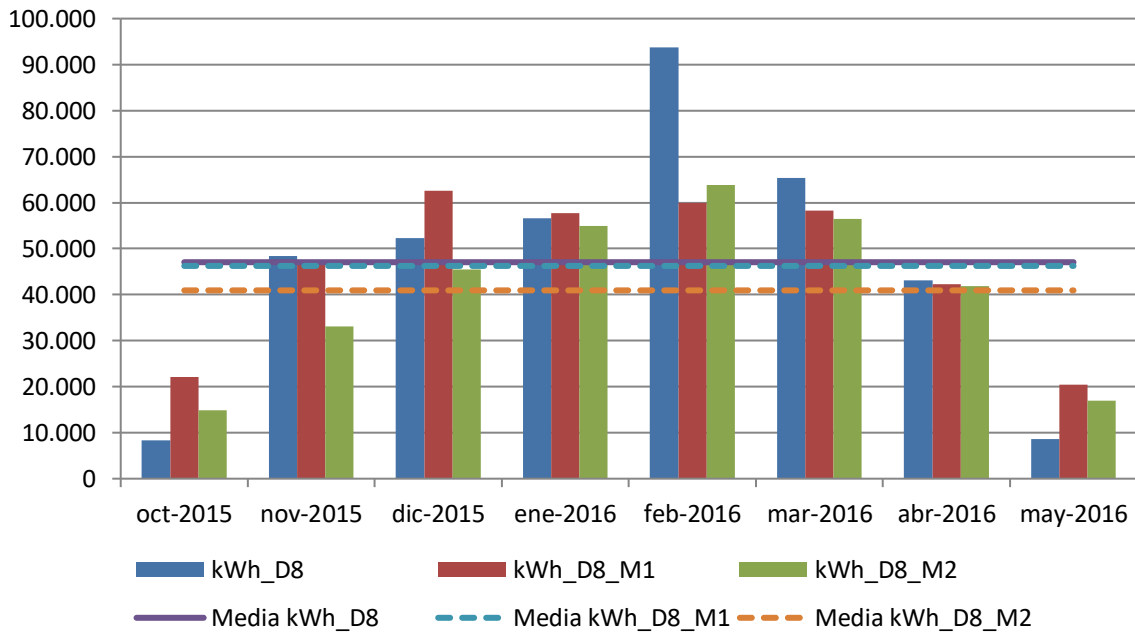


Figura 257. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D8

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 309. El valor negativo del pronóstico de mayo de 2017, obtenido con el Modelo 2, se ha anulado de la prueba.

Tabla 309. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D8

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,234	8	,200	,906	8	,327
kWh_pronost_M1	,166	8	,200	,963	8	,834
kWh_real (sin Mayo 2017)	,255	7	,189	,932	7	,569
kWh_pronost_M2	,239	7	,200*	,923	7	,490

En la Tabla 310, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D8, un 18,8 % inferior con la estimación del Modelo 1 y un 31,2 % inferior con la estimación del Modelo 2

Tabla 310. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D8

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	kWh_real	52294,3750		8	33484,94190	11838,71474
	kWh_pronost_M1	42451,1250	-18,8%	8	26394,89300	9332,00392
Par 2	kWh_real	58475,2857		7	30847,16230	11659,13144
	kWh_pronost_M2	40205,8571	-31,2%	7	19579,73552	7400,44442

La Tabla 311, muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 y con el Modelo 2 (sig ≤ 0,05)

Tabla 311. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D8

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	9843,250	9778,788	3457,324	1667,978	18018,521	2,847	7	,025
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	18269,428	12449,290	4705,389	6755,755	29783,102	3,883	6	,008

En la Figura 258, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio D8, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada son estadísticamente significativas las diferencias encontradas entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1 y por el modelo 2, estas diferencias implica que utilizando la línea base establecida en el Modelo 1, se ha producido un aumento del consumo del 18,8 % y utilizando la línea base establecida con el modelo 2, un aumento del 31,2%, con la implantación de la red de calor, durante la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, para un nivel de confianza del 95 %.

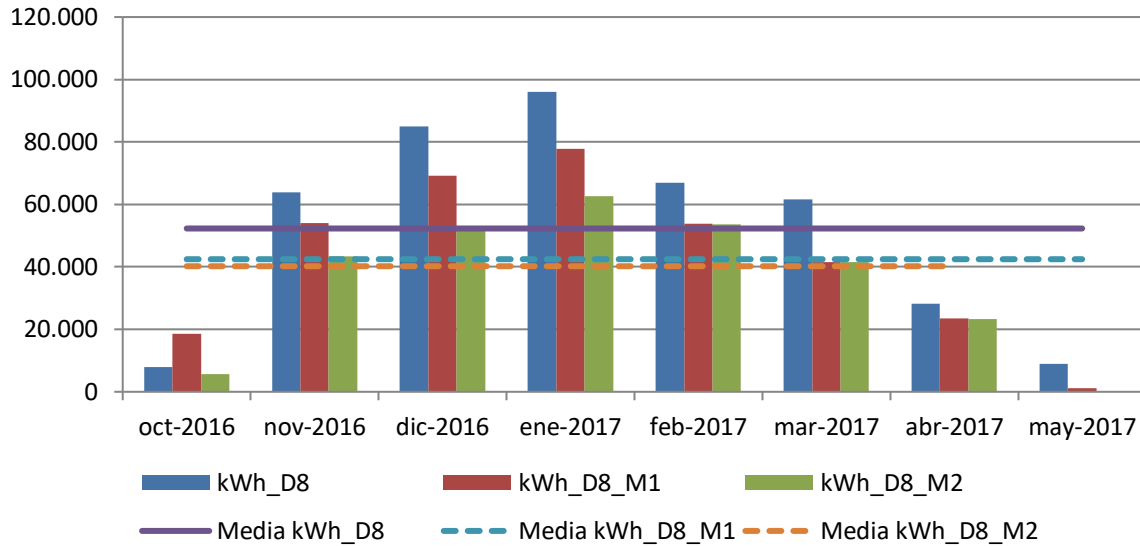


Figura 258. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D8

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 312

Tabla 312. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D8

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,154	8	,200	,933	8	,542
kWh_pronost_M1	,236	8	,200	,858	8	,114
kWh_pronost_M2	,244	8	,177	,860	8	,120

En la Tabla 313 se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D8, un 23,4 % inferior con la estimación del Modelo 1 y un 29,0 % inferior con la estimación del Modelo 2

Tabla 313. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D8

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 kWh_real	62265,0000		8	38904,49878	13754,81745
kWh_pronost_M1	47685,2500	-23,4%	8	24655,22624	8716,93883
Par 2 kWh_real	62265,0000		8	38904,49878	13754,81745
kWh_pronost_M2	44223,1250	-29,0%	8	25927,59825	9166,79027

La Tabla 314 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 y con el Modelo 2 ($\text{sig} \leq 0,05$).

Tabla 314. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D8

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	14579,750	15781,182	5579,490	1386,351	27773,149	2,613	7	,035
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	18041,875	16103,807	5693,555	4578,755	31504,994	3,169	7	,016

En la Figura 259 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D8, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada son estadísticamente significativas las diferencias encontradas entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1 y por el modelo 2, estas diferencias implica que utilizando la línea base establecida en el Modelo 1, se ha producido un aumento del consumo del 23,4 % y utilizando la línea base establecida con el modelo 2, un aumento del 29,0%, con la implantación de la red de calor, durante la temporada octubre 2017 – mayo 2018, para un nivel de confianza del 95 %.

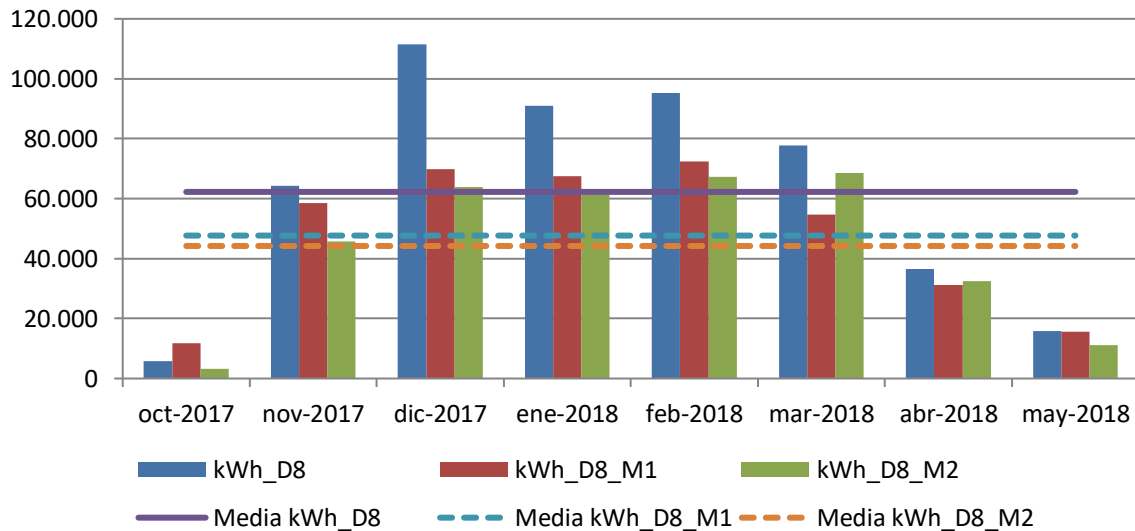


Figura 259. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D8

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, los valores reales como los pronosticados con el Modelo M1 y con el Modelo 2 se distribuyen según una Normal puesto que los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 315

Tabla 315. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,125	24	,200	,933	24	,113
kWh_pronost_M1	,189	24	,027	,930	24	,099
kWh_real (sin Mayo 2017)	,109	23	,200	,942	23	,203
kWh_pronost_M2	,144	23	,200	,921	23	,071

En la Tabla 316, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D8, un 15,6 % inferior con la estimación del Modelo 1 y un 25,0 % inferior con la estimación del Modelo 2

Tabla 316. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	kWh_real	53870,1667		24	32985,90889	6733,22046
	kWh_pronost_M1	45458,1250	-15,6%	24	22112,28905	4513,65210
Par 2	kWh_real	55819,8261		23	32282,39556	6731,34480
	kWh_pronost_M2	41853,2609	-25,0%	23	20650,82885	4305,99548

La Tabla 317 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 y con el Modelo 2 ($\text{sig} \leq 0,05$). Estas diferencias implican que utilizando la línea base establecida en el Modelo 1, se ha producido un aumento del consumo del 15,6 % y utilizando la línea base establecida con el modelo 2, un aumento del 25,0%, con la implantación de la red de calor, durante la temporada octubre 2015 – mayo 2018, para un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 317. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	8412,042	14474,067	2954,506	2300,179	14523,904	2,847	23	,009
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	13966,565	14406,721	3004,009	7736,632	20196,498	4,649	22	,000

AIV.8.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 318, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo 2 (por ser el de mayor coeficiente de correlación), las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 318. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D8.

	kWh_D8 Gas Natural	kWh_D8 Biomasa	kWh_D8 Real Total	kWh_D8_ M2 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	8.364	8.364	14.797	0	201	201	3.729	3.528	3.528
nov-2015	0	48.422	48.422	33.062	0	1.162	1.162	8.332	7.169	10.697
dic-2015	0	52.355	52.355	45.474	0	1.257	1.257	11.459	10.203	20.900
ene-2016	0	56.577	56.577	54.923	0	1.358	1.358	13.841	12.483	33.383
feb-2016	20.417	73.275	93.692	63.891	5.145	1.759	6.904	16.100	9.197	42.580
mar-2016	3.564	61.801	65.365	56.470	898	1.483	2.381	14.230	11.849	54.429
abr-2016	211	42.874	43.085	41.822	53	1.029	1.082	10.539	9.457	63.886
may-2016	0	8.549	8.549	16.960	0	205	205	4.274	4.069	67.955
oct-2016	7.817	0	7.817	5.703	1.970	0	1.970	1.437	-533	67.422
nov-2016	10.737	53.081	63.818	43.290	2.706	1.274	3.980	10.909	6.929	74.351
dic-2016	1.536	83.456	84.992	51.688	387	2.003	2.390	13.025	10.635	84.986
ene-2017	576	95.488	96.064	62.541	145	2.292	2.437	15.760	13.323	98.310
feb-2017	328	66.543	66.871	53.578	83	1.597	1.680	13.502	11.822	110.132
mar-2017	272	61.320	61.592	41.441	69	1.472	1.540	10.443	8.903	119.035
abr-2017	144	28.029	28.173	23.200	36	673	709	5.846	5.137	124.172
may-2017	0				0	0	0	0	0	124.172
oct-2017	0	5.806	5.806	3.312	0	139	139	835	695	124.868
nov-2017	152	64.210	64.362	45.665	38	1.541	1.579	11.508	9.928	134.796
dic-2017	328	111.222	111.550	63.880	83	2.669	2.752	16.098	13.346	148.142
ene-2018	184	90.885	91.069	61.226	46	2.181	2.228	15.429	13.201	161.343
feb-2018	912	94.399	95.311	67.366	230	2.266	2.495	16.976	14.481	175.824
mar-2018	1.512	76.142	77.654	68.583	381	1.827	2.208	17.283	15.074	190.898
abr-2018	168	36.304	36.472	32.522	42	871	914	8.195	7.282	198.180
may-2018	0	15.896	15.896	11.231	0	382	382	2.830	2.449	200.629

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 201 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio D8 y únicamente debido al cambio de gas natural por biomasa.

AIV.8.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 319 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 320, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 319. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,02391			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02015			

Tabla 320. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D8

	kWh_D8_Gas Natural	kWh_D8_Biomasa	kWh_D8	kWh_D8_M2	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	8.364	8.364	14.797	0	169	169	552	383	383
nov-2015	0	48.422	48.422	33.062	0	976	976	1.233	257	641
dic-2015	0	52.355	52.355	45.474	0	1.055	1.055	1.696	641	1.282
ene-2016	0	56.577	56.577	54.923	0	1.140	1.140	1.681	541	1.823
feb-2016	20.417	73.275	93.692	63.891	625	1.476	2.101	1.955	-146	1.677
mar-2016	3.564	61.801	65.365	56.470	109	1.245	1.354	1.728	374	2.050
abr-2016	211	42.874	43.085	41.822	6	864	870	1.280	409	2.460
may-2016	0	8.549	8.549	16.960	0	172	172	519	347	2.806
oct-2016	7.817	0	7.817	5.703	239	0	239	175	-65	2.742
nov-2016	10.737	53.081	63.818	43.290	329	1.070	1.398	1.325	-73	2.668
dic-2016	1.536	83.456	84.992	51.688	47	1.682	1.729	1.582	-147	2.521
ene-2017	576	95.488	96.064	62.541	18	1.924	1.942	1.964	22	2.543
feb-2017	328	66.543	66.871	53.578	10	1.341	1.351	1.682	331	2.874
mar-2017	272	61.320	61.592	41.441	9	1.236	1.244	1.301	57	2.931
abr-2017	144	28.029	28.173	23.200	5	565	569	728	159	3.090
oct-2017	0	5.806	5.806	3.312	0	117	117	104	-13	3.077
nov-2017	152	64.210	64.362	45.665	5	1.294	1.299	1.434	135	3.213
dic-2017	328	111.222	111.550	63.880	10	2.241	2.251	2.006	-246	2.967
ene-2018	184	90.885	91.069	61.226	6	1.831	1.838	2.057	220	3.187
feb-2018	912	94.399	95.311	67.366	31	1.902	1.933	2.264	331	3.517
mar-2018	1.512	76.142	77.654	68.583	51	1.534	1.585	2.304	719	4.237
abr-2018	168	36.304	36.472	32.522	6	732	737	1.093	356	4.592
may-2018	0	15.896	15.896	11.231	0	320	320	377	57	4.649
€ Total							26.390	31.039		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.9.Edificio D9. Gimnasio de la Facultad de Educación.

AIV.9.1.Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 321

Tabla 321. Consumos térmicos del edificio D9

Consumos térmicos (kWh). D9	
oct-12	16.335
nov-12	31.692
dic-12	42.168
ene-13	44.716
feb-13	42.732
mar-13	34.135
abr-13	25.105
may-13	20.021
oct-13	12.629
nov-13	33.422
dic-13	52.571
ene-14	39.501
feb-14	36.368
mar-14	27.453
abr-14	14.255
may-14	12.328
Promedio	30.340
Total (oct-12-may-13)	256.905
Total (oct-13-may-14)	228.527
Total (oct-12-may-13)	485.432

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 322 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados día Base 15). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo la Grados día Base 15 por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 323 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig > 0,05.

Tabla 322. Modelos de regresión del Edificio D9

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-654,602	435,846	-1,502	,155	-1589,400	280,195
GD15_30min	139,864	1,831	76,398	,000	135,938	143,791

En la Figura 260 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

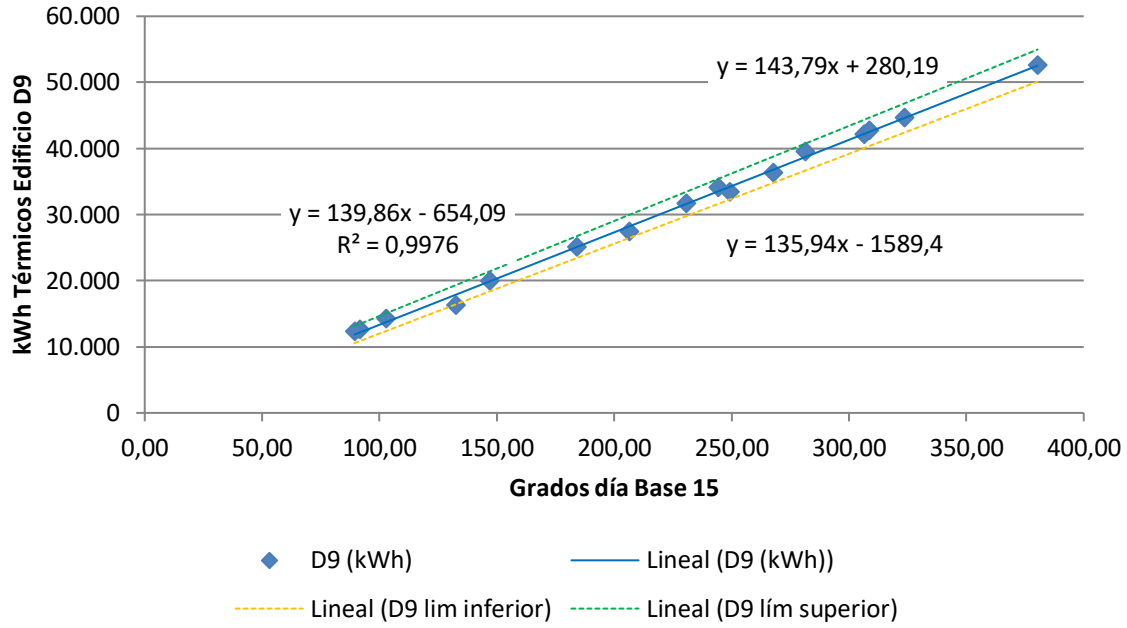


Figura 260. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D9

Tabla 323. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D9

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	,120	,906	,033
	GD15_24h	-,471	,646	-,129
	GD20_24h	,036	,972	,010
	T_med	,332	,745	,092
	T_media_diurna	,000	1,000	,000
	T_max	-,385	,707	-,106
	T_min	,824	,425	,223
	HR_%	,280	,784	,078
	HR_med_diurna_%	,231	,821	,064
1	HR_max_%	,416	,684	,115
	HR_min_%	,400	,695	,110
	Radiación_W/m2	,556	,588	,152
	V_Viento_m/s	,739	,473	,201
	V_viento_diurna_m/s	,640	,534	,175
	V_viento_nocturna_m/s	,865	,403	,233
	V_viento_max_m/s	,545	,595	,149
	Recorrido_viento_km/día	,740	,472	,201
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,016	,988	,004
	Horas insolación_h	,336	,742	,093

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D9, se resumen en la Tabla 324

Tabla 324. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D9

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,999	,998	,997	637,20334

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,999, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de la Grados día Base 15, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 99,8% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 637 kWh, lo que representa un 2,1% del promedio de los consumos que fue de 30.340 kWh.

AIV.9.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 322, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D9) y la independiente (Grados día Base 15). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día Base 15.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas, siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 325, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: Grados día Base 15 poseen una Sig > 0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 325. Prueba de normalidad para el edificio D9

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D9	,117	16	,200	,949	16	,469
GD15_30min	,109	16	,200	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,694.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629].

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,694 está dentro del intervalo que marca la ausencia de correlación, se concluye que no existe autocorrelación.

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 261 y Figura 262, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = $-2,22 \times 10^{-16}$ y entre la variable independiente (Grados día Base 15) y los residuos un coeficiente de determinación, también de $-2,22 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

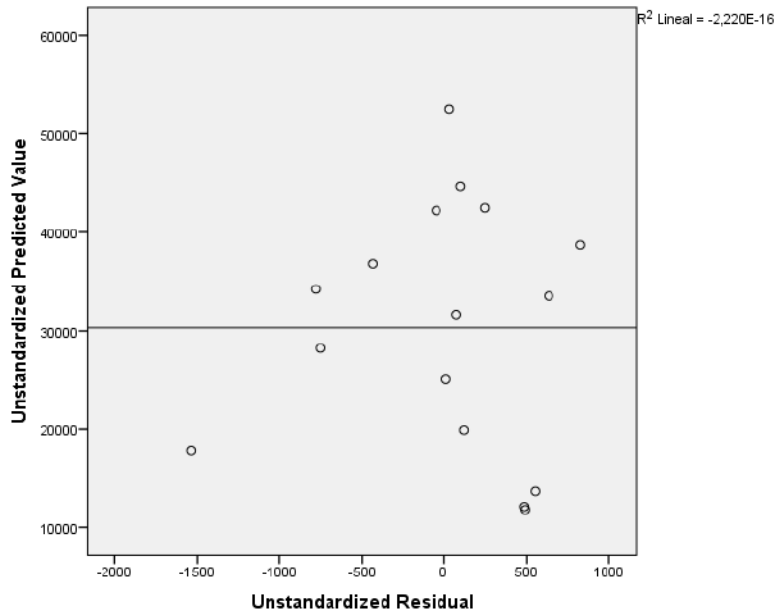


Figura 261. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D9

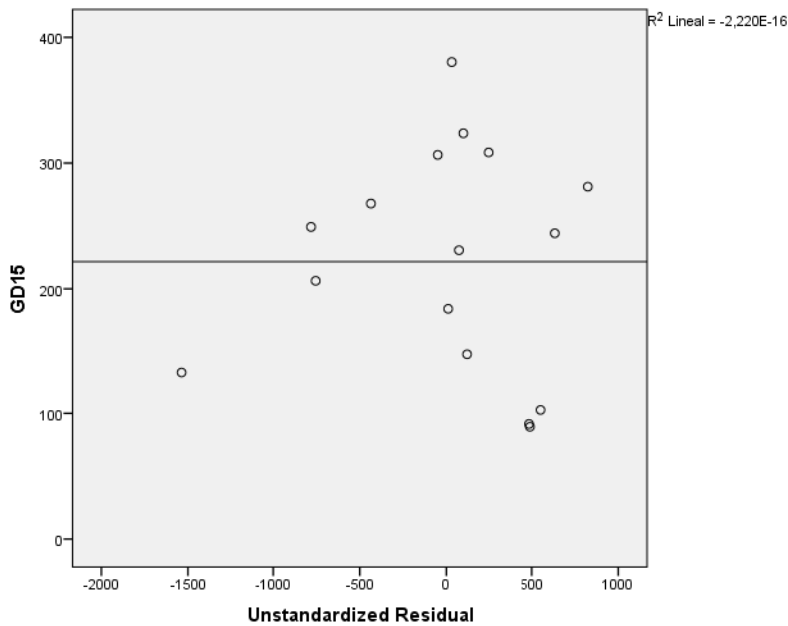


Figura 262. Relación entre Grados día Base 15 y los residuos en el Edificio D9

AIV.9.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D9.

$$\text{kWh_D9_Pronosticado} = -654,602 + 139,864 \times \text{GD15_30min}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 326, donde “kWh_D9_Real”, representa el consumo real, “kWh_D9_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 326. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D9.

	GD15	kWh_D9_Real	kWh_D9_Pronosticado
oct-15	97,04	10.847	12.918
nov-15	208,36	35.070	28.488
dic-15	300,09	21.527	41.318
ene-16	271,93	27.599	37.379
feb-16	266,36	55.163	36.600
mar-16	276,34	36.551	37.995
abr-16	181,04	29.596	24.667
may-16	99,34	7.715	13.239
oct-16	97,34	10.167	12.959
nov-16	245,69	43.277	33.709
dic-16	337,25	37.629	46.515
ene-17	386,98	55.750	53.471
feb-17	226,76	42.290	31.061
mar-17	203,17	35.130	27.761
abr-17	129,72	8.288	17.489
may-17	54,86	1.706	7.018
oct-17	92,31	4.566	12.257
nov-17	271,60	37.102	37.333
dic-17	341,26	53.819	47.075
ene-18	327,94	45.982	45.213
feb-18	321,27	43.599	44.279
mar-18	255,02	51.291	35.014
abr-18	143,31	24.007	19.389
may-18	78,41	7.171	10.312

AIV.9.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 327

Tabla 327. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D9

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,162	8	,200	,960	8	,807
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,135

En la Tabla 328, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D9, en un 3,8 %

Tabla 328. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D9

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	28008,5000		8	15171,62234	5363,97852
kWh_pronosticado	29075,5000	3,8%	8	11254,47255	3979,05693

La Tabla 329 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese 3,8% de diferencia

Tabla 329. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D9

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Diferencias relacionadas				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-1067,000	11509,720	4069,301	-10689,367	8555,367	-,262	7	,801

En la Figura 263, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D9, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

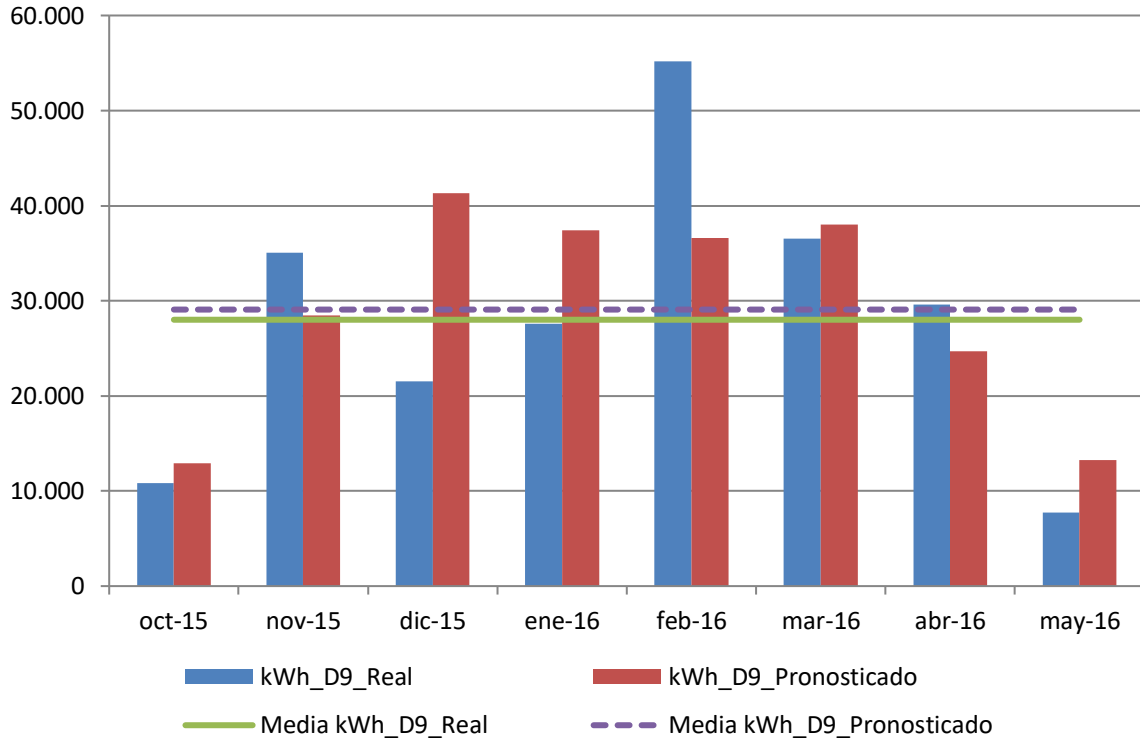


Figura 263. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D9

Para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 330. El número de datos disponibles son 7, dado que el pronóstico para mayo de 2017, resultó un dato negativo.

Tabla 330. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D9

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,241	8	,189	,897	8	,270
kWh_pronosticado	,133	8	,200	,965	8	,856

En la Tabla 331, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D9, en un 1,8 %

Tabla 331. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D9

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	29279,6250		8	19770,32993	6989,86718
kWh_pronosticado	28747,8750	-1,8%	8	16062,73050	5679,03283

La Tabla 332 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese -1,8% de diferencia

Tabla 332. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D9

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	531,750	8233,234	2910,888	-6351,406	7414,906	,183	7	,860

En la Figura 264, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017 para el Edificio D9, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

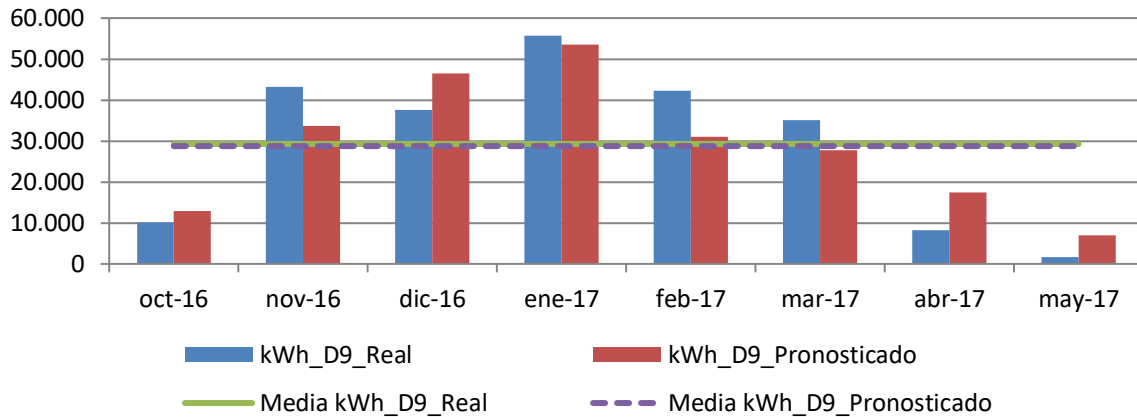


Figura 264. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D9

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 333

Tabla 333. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D9

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,200	8	,200	,878	8	,181
kWh_pronosticado	,220	8	,200	,860	8	,119

En la Tabla 334, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D9, en un 6,2 %

Tabla 334. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D9

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	33442,1250		8	19348,78668	6840,82913
kWh_pronosticado	31359,0000	-6,2%	8	15147,10527	5355,31043

La Tabla 335 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese -6,2% de diferencia

Tabla 335. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D9

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	2083,125	7242,310	2560,543	-3971,598	8137,848	,814	7	,443

En la Figura 265 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D9, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

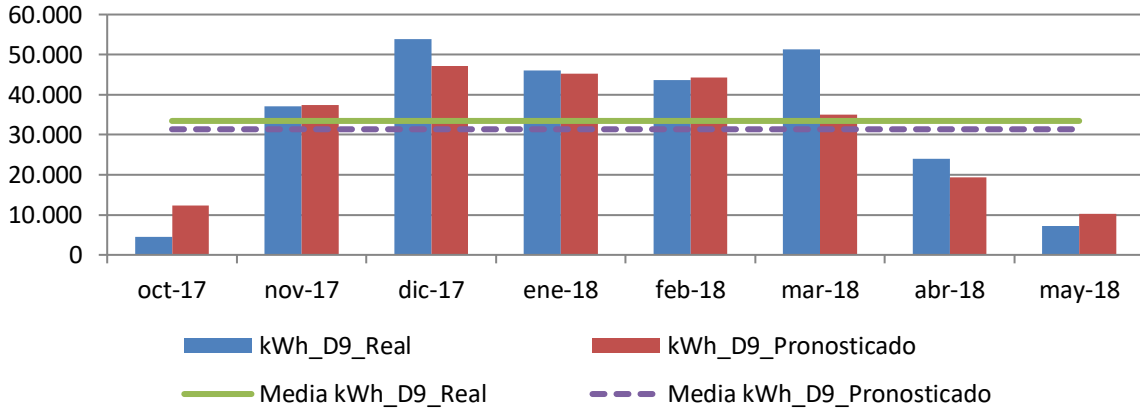


Figura 265. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D9

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 336

Tabla 336. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,157	24	,130	,925	24	,074
kWh_pronosticado	,135	24	,200	,942	24	,183

En la Tabla 337 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio D9, en un 1,7 %

Tabla 337. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	30243,4337		24	17566,18831	3585,68317
kWh_pronosticado	29727,3383	-1,7%	24	13722,55665	2801,10515

La Tabla 338 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05).

Tabla 338. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9

	Diferencias relacionadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					
				Inferior	Superior				
kWh_real - kWh_pronosticado	516,095	8867,779	1810,128	-3228,439	4260,630	,285	23	,778	

AIV.9.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 339, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor. Dado que las diferencias entre el consumo real y pronosticado ha resultado ser no significativa se igual el consumo pronosticado al real

Tabla 339. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D9.

	kWh_D9 Gas Natural	kWh_D9 Biomasa	kWh_D9 Real Total	kWh_D9 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	10.847	10.847	10.847	0	260	260	2.733	2.473	2.473
nov-2015	0	35.070	35.070	35.070	0	842	842	8.838	7.996	10.469
dic-2015	0	21.527	21.527	21.527	0	517	517	5.425	4.908	15.377
ene-2016	0	27.599	27.599	27.599	0	662	662	6.955	6.293	21.670
feb-2016	10.984	44.179	55.163	55.163	2.768	1.060	3.828	13.901	10.073	31.743
mar-2016	1.364	35.187	36.551	36.551	344	844	1.188	9.211	8.023	39.765
abr-2016	1.242	28.354	29.596	29.596	313	680	993	7.458	6.465	46.230
may-2016	81	7.634	7.715	7.715	20	183	204	1.944	1.741	47.971
oct-2016	3.328	6.839	10.167	10.167	839	164	1.003	2.562	1.559	49.530
nov-2016	232	43.045	43.277	43.277	58	1.033	1.092	10.906	9.814	59.344
dic-2016	160	37.469	37.629	37.629	40	899	940	9.483	8.543	67.887
ene-2017	0	55.750	55.750	55.750	0	1.338	1.338	14.049	12.711	80.598
feb-2017	0	42.290	42.290	42.290	0	1.015	1.015	10.657	9.642	90.240
mar-2017	208	34.922	35.130	35.130	52	838	891	8.853	7.962	98.202
abr-2017	0	8.288	8.288	8.288	0	199	199	2.089	1.890	100.092
may-2017	0	1.706	1.706	1.706	0	41	41	430	389	100.481
oct-2017	2.160	2.406	4.566	4.566	544	58	602	1.151	549	101.030
nov-2017	144	36.958	37.102	37.102	36	887	923	9.350	8.426	109.456
dic-2017	128	53.691	53.819	53.819	32	1.289	1.321	13.562	12.242	121.698
ene-2018	0	45.982	45.982	45.982	0	1.104	1.104	11.587	10.484	132.181
feb-2018	0	43.599	43.599	43.599	0	1.046	1.046	10.987	9.941	142.122
mar-2018	624	50.667	51.291	51.291	157	1.216	1.373	12.925	11.552	153.674
abr-2018	56	23.951	24.007	24.007	14	575	589	6.050	5.461	159.135
may-2018	0	7.171	7.171	7.171	0	172	172	1.807	1.635	160.770

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 161 Toneladas de CO₂, debido al cambio de gas natural a biomasa, en el Edificio D9.

AIV.9.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 340 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 341, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 340. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03225			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02728			

Tabla 341. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D9

	kWh_D9 _Gas Natural	kWh_D9_ Biomasa	kWh_D9 Real	kWh_D9 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	10.847	10.847	10.847	0	296	296	405	109	109
nov-2015	0	35.070	35.070	35.070	0	957	957	1.308	351	460
dic-2015	0	21.527	21.527	21.527	0	587	587	803	216	676
ene-2016	0	27.599	27.599	27.599	0	753	753	845	92	767
feb-2016	10.984	44.179	55.163	55.163	336	1.205	1.541	1.688	147	914
mar-2016	1.364	35.187	36.551	36.551	42	960	1.002	1.118	117	1.031
abr-2016	1.242	28.354	29.596	29.596	38	773	812	906	94	1.125
may-2016	81	7.634	7.715	7.715	2	208	211	236	25	1.150
oct-2016	3.328	6.839	10.167	10.167	102	187	288	311	23	1.173
nov-2016	232	43.045	43.277	43.277	7	1.174	1.181	1.324	143	1.316
dic-2016	160	37.469	37.629	37.629	5	1.022	1.027	1.151	124	1.440
ene-2017	0	55.750	55.750	55.750	0	1.521	1.521	1.751	230	1.670
feb-2017	0	42.290	42.290	42.290	0	1.154	1.154	1.328	174	1.844
mar-2017	208	34.922	35.130	35.130	7	953	959	1.103	144	1.988
abr-2017	0	8.288	8.288	8.288	0	226	226	260	34	2.022
may-2017	0	1.706	1.706	1.706	0	47	47	54	7	2.029
oct-2017	2.160	2.406	4.566	4.566	68	66	133	143	10	2.039
nov-2017	144	36.958	37.102	37.102	5	1.008	1.013	1.165	152	2.192
dic-2017	128	53.691	53.819	53.819	4	1.465	1.469	1.690	221	2.413
ene-2018	0	45.982	45.982	45.982	0	1.254	1.254	1.545	291	2.703
feb-2018	0	43.599	43.599	43.599	0	1.189	1.189	1.465	276	2.979
mar-2018	624	50.667	51.291	51.291	21	1.382	1.403	1.723	320	3.299
abr-2018	56	23.951	24.007	24.007	2	653	655	807	151	3.451
may-2018	0	7.171	7.171	7.171	0	196	196	241	45	3.496
€ Total							19.874	23.370		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.10.Edificio D10. Centro de Idiomas.

AIV.10.1.Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 342

Tabla 342. Consumos térmicos del edificio D10

Consumos térmicos (kWh). D10	
oct-12	9.525
nov-12	24.605
dic-12	51.330
ene-13	43.452
feb-13	53.877
mar-13	36.141
abr-13	23.334
may-13	5.546
oct-13	9.525
nov-13	24.605
dic-13	51.330
ene-14	43.452
feb-14	53.877
mar-14	36.141
abr-14	23.334
may-14	5.546
Promedio	30.976
Total (oct-12-may-13)	247.810
Total (oct-13-may-14)	247.810
Total (oct-12-may-13)	495.620

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 343 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Temperatura media). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo la temperatura media por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 344 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig > 0,05.

Tabla 343. Modelos de regresión del Edificio D10

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	66791,063	5167,180	12,926	,000	55708,564	77873,563
T_med	-4393,782	583,093	-7,535	,000	-5644,392	-3143,171

En la Figura 266 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

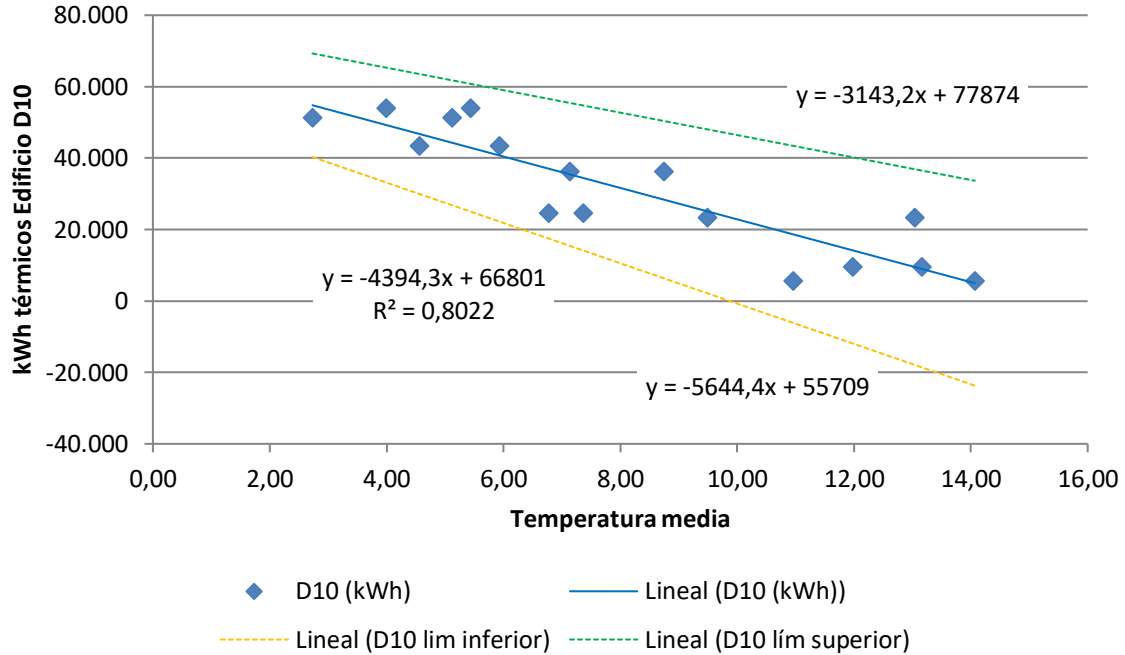


Figura 266. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D10

Tabla 344. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D10

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,247	,809	-,068
	GD20_30min	-,872	,399	-,235
	GD15_24h	-,751	,466	-,204
	GD20_24h	-1,081	,299	-,287
	T_media_diurna	,284	,781	,079
	T_max	,333	,745	,092
	T_min	-,457	,655	-,126
	HR_%	-,694	,500	-,189
	HR_med_diurna_%	-,563	,583	-,154
1	HR_max_%	-1,045	,315	-,278
	HR_min_%	-,707	,492	-,192
	Radiación_W/m2	,336	,742	,093
	V_Viento_m/s	2,067	,059	,497
	V_viento_diurna_m/s	2,136	,052	,510
	V_viento_nocturna_m/s	1,871	,084	,461
	V_viento_max_m/s	1,831	,090	,453
	Recorrido_viento_km/día	2,053	,061	,495
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,146	,886	-,041
	Horas insolación_h	,121	,906	,033

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D10, se resumen en la Tabla 345

Tabla 345. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D10

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,896	,802	,788	8108,58939

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de -0,896, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es inversa, al aumentar el valor de la Temperatura media, disminuye el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 80,2% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 8.108 kWh, lo que representa un 26,2% del promedio de los consumos (30.976 kWh).

AIV.10.2.Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 343, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D10) y la independiente (Temperatura media). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas, siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 346, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: Temperatura media poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 346. Prueba de normalidad para el edificio D10

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D10	,141	16	,200	,903	16	,090
T_med	,150	16	,200	,942	16	,376

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,510.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629], como el valor del estadístico está dentro de ese intervalo se acepta la ausencia de correlación.

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 267 y Figura 268, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación de $1,11 \times 10^{-16}$, se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

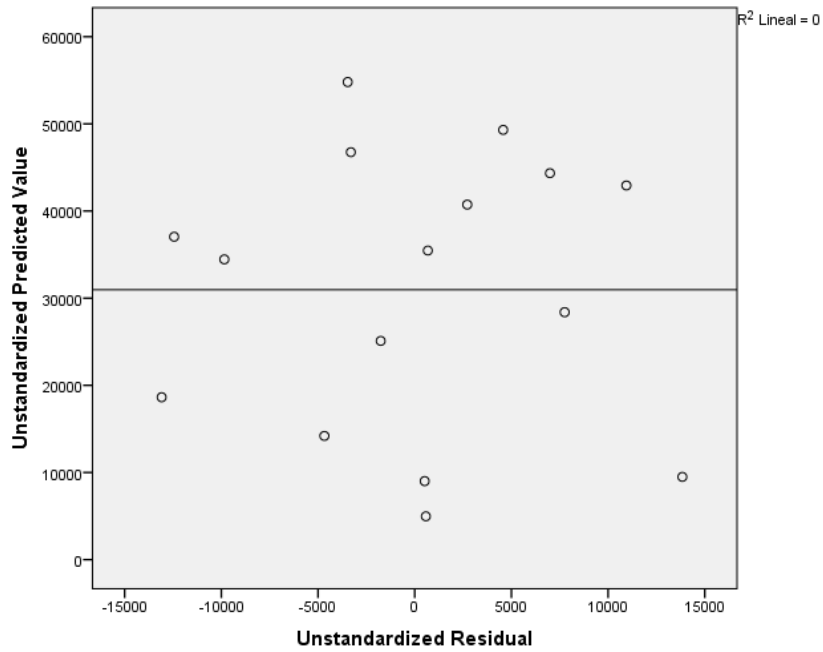


Figura 267. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D10

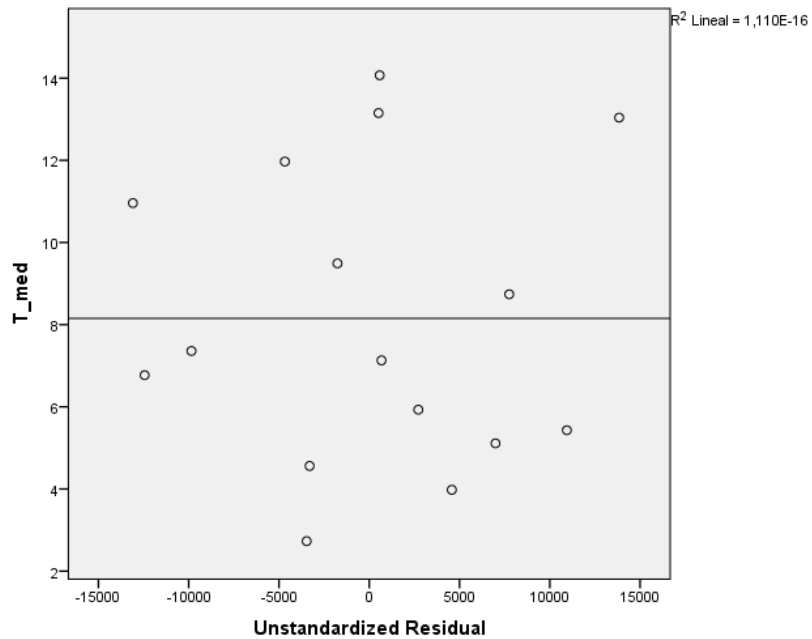


Figura 268. Relación entre Temperatura media y los residuos en el Edificio D10

AIV.10.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D10.

$$\text{kWh_D10_Pronosticado} = 66791,063 - 4393,782 \times T_med$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 347, donde “kWh_D10_Real”, representa el consumo real, “kWh_D10_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo. Se prescinde del valor pronosticado para mayo de 2017, por ser un valor imposible, en el estudio de diferencias significativas

Tabla 347. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D10.

	T_med	kWh_D10_Real	kWh_D10_Pronosticado
oct-15	12,82	4.183	10.468
nov-15	8,30	26.851	30.312
dic-15	5,33	32.026	43.378
ene-16	6,23	33.481	39.402
feb-16	5,82	54.047	41.236
mar-16	6,14	39.987	39.800
abr-16	9,10	29.457	26.805
may-16	13,11	6.620	9.170
oct-16	13,48	6.261	7.561
nov-16	6,90	30.783	36.467
dic-16	4,12	42.246	48.680
ene-17	2,52	51.733	55.736
feb-17	6,96	35.287	36.212
mar-17	9,21	30.375	26.327
abr-17	12,58	12.121	11.530
may-17	16,69	4.111	-6.527
oct-17	14,71	3.499	2.153
nov-17	6,09	27.035	40.031
dic-17	3,99	41.851	49.254
ene-18	4,42	43.756	47.368
feb-18	3,53	44.761	51.287
mar-18	6,80	38.923	36.902
abr-18	11,15	23.478	17.817
may-18	14,03	6.241	5.156

AIV.10.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 348

Tabla 348. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D10

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,214	8	,200	,932	8	,535
kWh_pronosticado	,252	8	,144	,839	8	,073

En la Tabla 349, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D10, en un 6,1 %

Tabla 349. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D10

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	28331,5000		8	16454,70934	5817,61828
kWh_pronosticado	30071,3750	6,1%	8	13707,70754	4846,40648

La Tabla 350 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $>0,05$), a pesar de existir ese 6,1% de diferencia

Tabla 350. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D10

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Diferencias relacionadas		t	gl	Sig. (bilateral)
				95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-1739,875	7259,288	2566,546	-7808,792	4329,042	-,678	7	,520

En la Figura 269, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D10, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

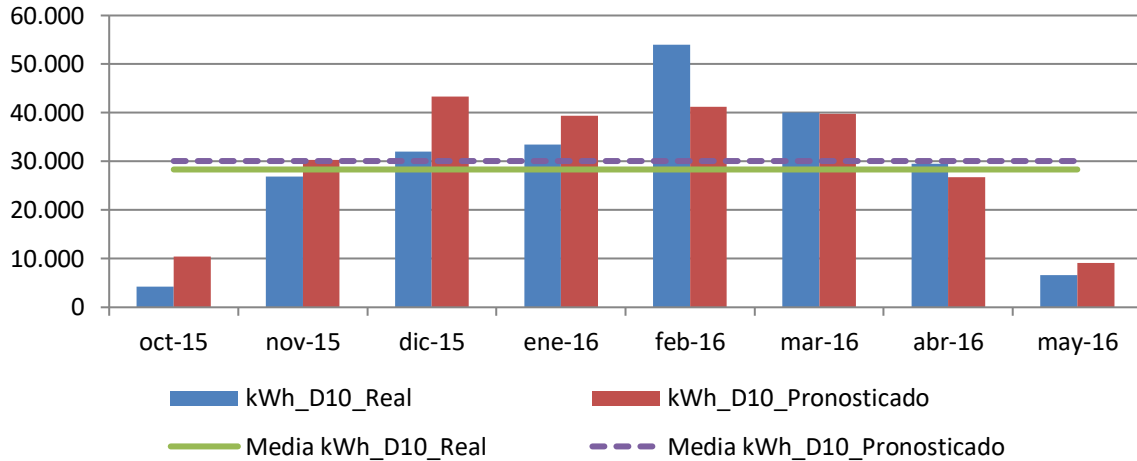


Figura 269. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D10

Para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 351. El número de datos disponibles son 7, dado que el pronóstico para mayo de 2017, resultó un dato negativo.

Tabla 351. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D10

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,228	7	,200	,949	7	,721
kWh_pronosticado	,169	7	,200	,946	7	,695

En la Tabla 352, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D10, en un 6,6 %

Tabla 352. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D10

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	29829,4286		7	15989,52255	6043,47146
kWh_pronosticado	31787,5714	6,6%	7	17923,29861	6774,37011

La Tabla 353 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese 6,6% de diferencia

Tabla 353. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D10

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-1958,143	3700,657	1398,717	-5380,680	1464,394	-1,400	6	,211

En la Figura 270, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017 para el Edificio D10, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

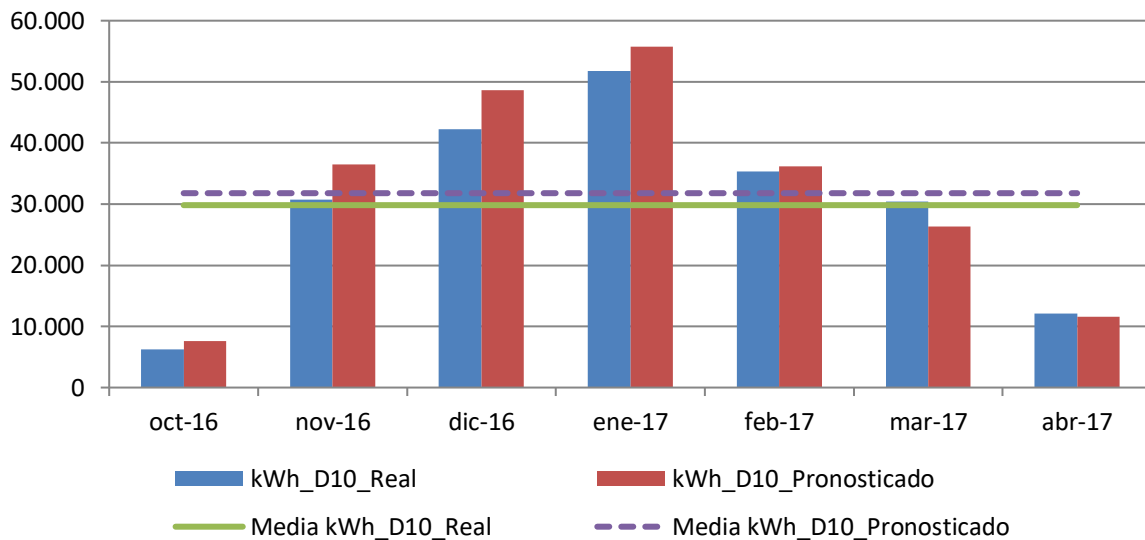


Figura 270. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D10

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 354

Tabla 354. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D10

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,231	8	,200	,858	8	,116
kWh_pronosticado	,236	8	,200	,858	8	,114

En la Tabla 355, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D10, en un 8,9 %

Tabla 355. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D10

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	28693,0000		8	16611,68086	5873,11609
kWh_pronosticado	31246,0000	8,9%	8	20008,72660	7074,15313

La Tabla 356 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese 8,9% de diferencia

Tabla 356. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D10

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-2553,000	6168,045	2180,733	-7709,615	2603,615	-1,171	7	,280

En la Figura 271 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D10, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

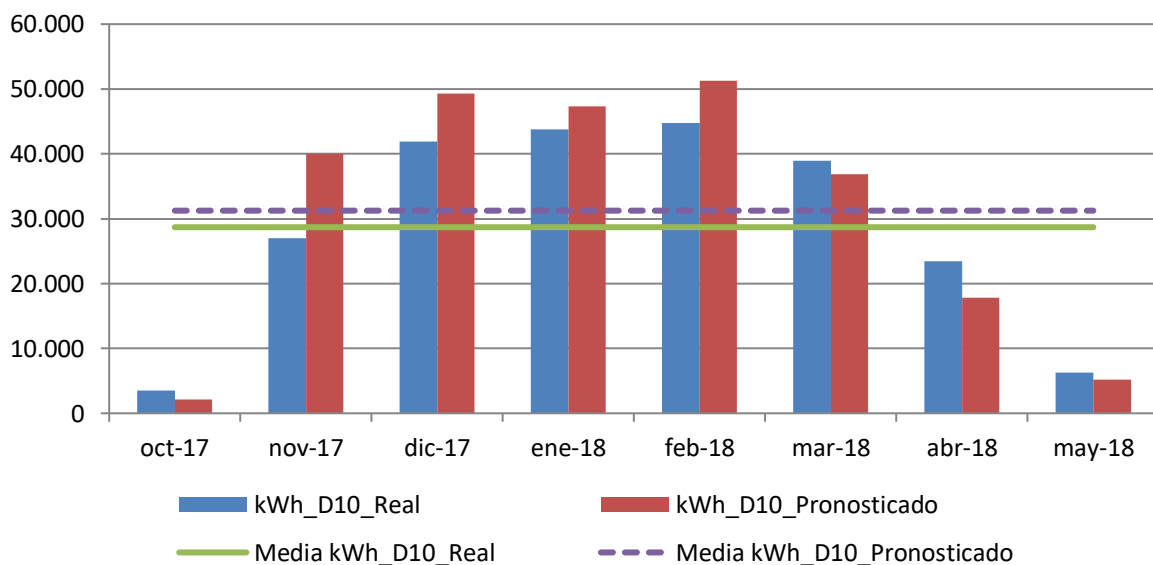


Figura 271. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D10

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 357

Tabla 357. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,143	23	,200	,923	23	,077
kWh_pronosticado	,188	23	,033	,920	23	,065

En la Tabla 358 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D10, en un 7,2 %

Tabla 358. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	28913,0848		23	15623,20752	3257,66396
kWh_pronosticado	31002,3509	7,2%	23	16592,58321	3459,79277

La Tabla 359 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05).

Tabla 359. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10

	Diferencias relacionadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					
				Inferior	Superior				
kWh_real - kWh_pronosticado	-2089,266	5721,506	1193,016	-4563,431	384,898	-1,751	22	,094	

AIV.10.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 360, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor. Al no haberse obtenido diferencias significativas entre el consumo real y el pronosticado, éste último se ha igualado al consumo real.

Tabla 360. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio D10.

	kWh_D10 Gas Natural	kWh_D10 Biomasa	kWh_D10 Real Total	kWh_D10 Predicho	kg CO ₂ Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO ₂ Real debido a Biomasa	kg CO ₂ Real debido al consumo TOTAL	kg CO ₂ que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO ₂	Ahorro de kg CO ₂ acumulado
oct-2015	0	4.183	4.183	4.183	0	100	100	1.054	954	954
nov-2015	0	26.851	26.851	26.851	0	644	644	6.766	6.122	7.076
dic-2015	0	32.026	32.026	32.026	0	769	769	8.071	7.302	14.378
ene-2016	0	33.481	33.481	33.481	0	804	804	8.437	7.634	22.011
feb-2016	13.866	40.181	54.047	54.047	3.494	964	4.458	13.620	9.161	31.173
mar-2016	520	39.467	39.987	39.987	131	947	1.078	10.077	8.998	40.171
abr-2016	114	29.343	29.457	29.457	29	704	733	7.423	6.690	46.861
may-2016	0	6.620	6.620	6.620	0	159	159	1.668	1.509	48.371
oct-2016	864	5.397	6.261	6.261	218	130	347	1.578	1.231	49.601
nov-2016	288	30.495	30.783	30.783	73	732	804	7.757	6.953	56.554
dic-2016	16	42.230	42.246	42.246	4	1.014	1.018	10.646	9.628	66.182
ene-2017	8	51.725	51.733	51.733	2	1.241	1.243	13.037	11.793	77.976
feb-2017	8	35.279	35.287	35.287	2	847	849	8.892	8.044	86.019
mar-2017	344	30.031	30.375	30.375	87	721	807	7.655	6.847	92.866
abr-2017	0	12.121	12.121	12.121	0	291	291	3.054	2.764	95.630
may-2017	32	4.079	4.111	4.111	8	98	106	1.036	930	96.560
oct-2017	0	3.499	3.499	3.499	0	84	84	882	798	97.358
nov-2017	0	27.035	27.035	27.035	0	649	649	6.813	6.164	103.522
dic-2017	24	41.827	41.851	41.851	6	1.004	1.010	10.546	9.537	113.058
ene-2018	96	43.660	43.756	43.756	24	1.048	1.072	11.027	9.954	123.013
feb-2018	40	44.721	44.761	44.761	10	1.073	1.083	11.280	10.196	133.209
mar-2018	272	38.651	38.923	38.923	69	928	996	9.809	8.812	142.022
abr-2018	136	23.342	23.478	23.478	34	560	594	5.916	5.322	147.344
may-2018	0	6.241	6.241	6.241	0	150	150	1.573	1.423	148.767

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 149 Toneladas de CO₂, debido al cambio de combustible de gas natural por biomasa en el edificio D10.

AIV.10.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 361 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 362, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 361. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03223			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02728			

Tabla 362. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D10

	kWh_D10_Gas Natural	kWh_D10_Biomasa	kWh_D10 Real	kWh_D10 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	4.183	4.183	4.183	0	114	114	156	42	42
nov-2015	0	26.851	26.851	26.851	0	732	732	1.002	269	311
dic-2015	0	32.026	32.026	32.026	0	874	874	1.195	321	632
ene-2016	0	33.481	33.481	33.481	0	913	913	1.025	111	743
feb-2016	13.866	40.181	54.047	54.047	424	1.096	1.520	1.654	133	876
mar-2016	520	39.467	39.987	39.987	16	1.077	1.093	1.224	131	1.007
abr-2016	114	29.343	29.457	29.457	3	800	804	901	97	1.105
may-2016	0	6.620	6.620	6.620	0	181	181	203	22	1.127
oct-2016	864	5.397	6.261	6.261	26	147	174	192	18	1.145
nov-2016	288	30.495	30.783	30.783	9	832	841	942	101	1.246
dic-2016	16	42.230	42.246	42.246	0	1.152	1.153	1.293	140	1.386
ene-2017	8	51.725	51.733	51.733	0	1.411	1.411	1.624	213	1.599
feb-2017	8	35.279	35.287	35.287	0	962	963	1.108	145	1.745
mar-2017	344	30.031	30.375	30.375	11	819	830	954	124	1.868
abr-2017	0	12.121	12.121	12.121	0	331	331	381	50	1.918
may-2017	32	4.079	4.111	4.111	1	111	112	129	17	1.935
oct-2017	0	3.499	3.499	3.499	0	95	95	110	14	1.950
nov-2017	0	27.035	27.035	27.035	0	738	738	849	111	2.061
dic-2017	24	41.827	41.851	41.851	1	1.141	1.142	1.314	172	2.233
ene-2018	96	43.660	43.756	43.756	3	1.191	1.194	1.470	276	2.509
feb-2018	40	44.721	44.761	44.761	1	1.220	1.221	1.504	283	2.792
mar-2018	272	38.651	38.923	38.923	9	1.054	1.064	1.308	244	3.036
abr-2018	136	23.342	23.478	23.478	5	637	641	789	148	3.184
may-2018	0	6.241	6.241	6.241	0	170	170	210	39	3.223
€ Total							18.311	21.534		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.11.Edificio D11. Facultad de Educación y Trabajo Social.

AIV.11.1.Obtención de la línea base de referencia energética

Utilizando el programa SPSS V.20, se obtiene el modelo de regresión mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 363 para el edificio D11, el método ofrece dos modelos de regresión, uno con una sola variable (Temperatura media) y otro con dos variables (Temperatura media y Grados día Base 15).

El primer modelo (modelo de regresión lineal simple) fue construido con un solo paso, incluyendo la Temperatura media por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000) que indica la probabilidad de cometer un error al rechazar que la pendiente de la variable “Temperatura media” es igual a cero, por lo que se acepta que esa variable forma parte del modelo con una pendiente (B= -12648,948).

El segundo modelo (modelo de regresión lineal múltiple) se construyó en dos pasos, primero entró la Temperatura media y luego entró la siguiente variable que rechazase la Hipótesis nula, (las variables que rechazan la hipótesis nula son las que presentan una pendiente estadísticamente significativa y su probabilidad de cometer el error de rechazar Ho es $\leq 0,05$, para un nivel de confianza del 95 %), esta variable fue los “Grados Día en Base 15”, por presentar un valor de Sig = 0,032, el resto de las variables como se observa en la Tabla 364 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig > 0,05.

Tabla 363. Modelos de regresión del Edificio D11

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B		
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	187840,052	14671,521	12,803	,000	156372,768	219307,335
	T_med	-12648,948	1655,616	-7,640	,000	-16199,891	-9098,006
2	(Constante)	630672,573	185019,502	3,409	,005	230962,239	1030382,907
	T_med	-38572,601	10899,956	-3,539	,004	-62120,524	-15024,679
	GD15_30min	-1044,773	435,490	-2,399	,032	-1985,592	-103,954

En la Figura 272 se representa el modelo 1 de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

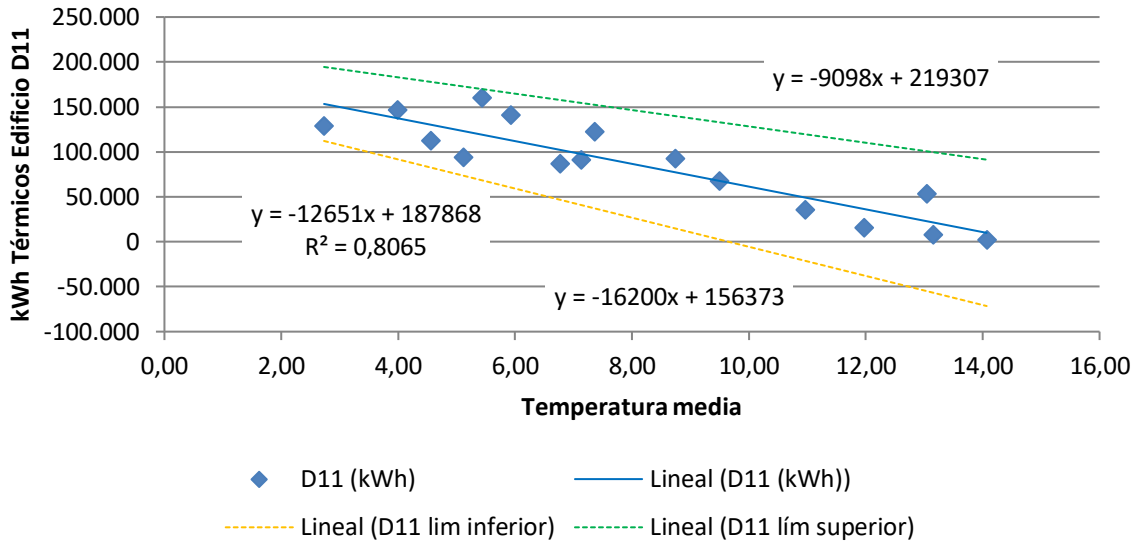


Figura 272. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D11

En la Figura 273 se representa el modelo 2 de regresión lineal múltiple para el edificio D11

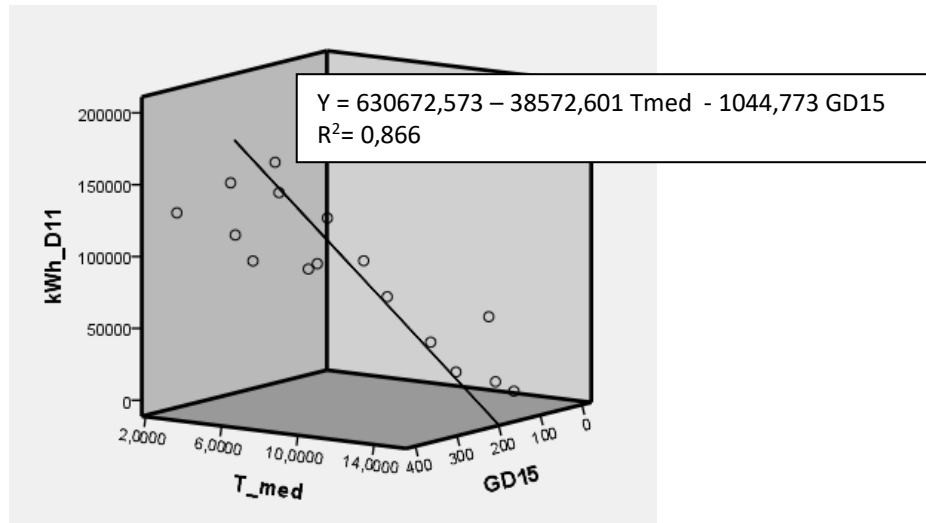


Figura 273. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio D11

Los valores de la columna t se obtienen dividiendo el valor de los coeficientes no estandarizados entre sus errores típicos, este estadístico tiende a ser mayor en valor absoluto cuando la hipótesis alternativa es verdadera, es decir cuando la variable posee una pendiente significativa en el modelo de regresión. En las Tabla 363 y Tabla 364, el estadístico t y su nivel crítico (Sig), permiten contrastar la hipótesis nula consistente en que el coeficiente de regresión vale cero en el modelo; a mayor valor de t, mayor peso en el modelo.

El valor “Sig” corresponde a los valores de probabilidad de los valores de t, es la probabilidad de obtener el valor de t si la hipótesis nula fuera cierta, cuando son $\leq 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las pendientes son distintas de cero, luego si $\text{Sig} > 0,05$ se acepta la hipótesis nula de que la pendiente de la variable independiente en el modelo de regresión es igual a cero, no cumpliendo el criterio de entrada en el modelo.

La correlación parcial, que aparece en la Tabla 364 estudia la relación existente entre dos variables cuantitativas cuando se controla o elimina el efecto de terceras variables, en el modelo de regresión lineal, a mayor valor absoluto, mayor relación entre la variable dependiente y la independiente.

Tabla 364. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D11

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-2,399	,032	-,554
	GD20_30min	-2,351	,035	-,546
	GD15_24h	-2,366	,036	-,539
	GD20_24h	-2,294	,039	-,537
	T_media_diurna	-,062	,952	-,017
	T_max	-,276	,787	-,076
	T_min	-,168	,870	-,046
	HR_%	-,678	,510	-,185
	HR_med_diurna_%	-,501	,624	-,138
1	HR_max_%	-,968	,351	-,259
	HR_min_%	-,603	,557	-,165
	Radiación_W/m2	,341	,739	,094
	V_Viento_m/s	2,177	,049	,517
	V_viento_diurna_m/s	2,309	,038	,539
	V_viento_nocturna_m/s	1,964	,071	,478
	V_viento_max_m/s	2,352	,035	,546
	Recorrido_viento_km/día	2,183	,048	,518
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,295	,773	,082
	Horas insolación_h	,250	,806	,069
	GD20_30min	-,513	,617	-,147
	GD15_24h	-,023	,982	-,017
	GD20_24h	,231	,821	,067
	T_media_diurna	,123	,904	,036
	T_max	,112	,913	,032
	T_min	-,561	,585	-,160
	HR_%	-,727	,481	-,205
	HR_med_diurna_%	-,516	,615	-,147
2	HR_max_%	-1,047	,316	-,289
	HR_min_%	-,456	,656	-,131
	Radiación_W/m2	,541	,598	,154
	V_Viento_m/s	1,684	,118	,437
	V_viento_diurna_m/s	1,623	,131	,424
	V_viento_nocturna_m/s	1,773	,102	,456
	V_viento_max_m/s	1,589	,138	,417
	Recorrido_viento_km/día	1,690	,117	,438
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,283	,782	-,081
	Horas insolación_h	-,099	,923	-,028

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D11, se resumen en la Tabla 365

Tabla 365. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D11

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,898 ^a	,807	,793	23023,26149
2	-,931 ^b	,866	,845	19891,42514

Se observa como el modelo 1 de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) inferior en valor absoluto al modelo 2 de regresión lineal múltiple, este coeficiente indica que las variables de los modelos están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce en ambos modelos es inversa, al aumentar el valor de las variables independientes disminuye el valor de la variable dependiente que es el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo 1 se podría explicar el 80,7% de los datos reales obtenidos y el modelo 2, el porcentaje de aciertos o de explicación asciende al 86,6%, ambos aceptando un error del 5%.

El coeficiente de determinación corregido (R^2 corregido) que tiene en cuenta el número de variables independientes incluidas en el modelo y el tamaño de la muestra, reduce el coeficiente de determinación al 79,3% en el modelo 1 y al 84,5 % en el modelo 2.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 23.023 kWh para el modelo 1 y de 19.891 kWh para el modelo 2, lo que representa un 27,2% del promedio de los consumos que fue de 84.735 kWh para el modelo 1 y del 23,5% para el modelo 2.

Por tanto aunque el modelo 2 es más preciso, también es aceptado el modelo 1 para la representación de la línea base de los consumos térmicos del edificio D11.

AIV.11.2.Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 363, la pendiente (B), para el modelo 1, obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D11) y la independiente (Temperatura media). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media.

Para el modelo 2, según la misma Tabla 363, las pendientes de las dos variables introducidas en el modelo obtuvieron unos valores de Sig = 0,004 para la Temperatura media y de 0,032 para los Grados día Base 15, ambos $\leq 0,05$, lo que nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D11) y las independientes (Temperatura media y GD15_30min).

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de las variables independientes (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal, luego si la probabilidad del estadístico del test es \leq al nivel de significación 0,05, la hipótesis nula es rechazada y sólo aceptaremos que las variables se distribuyen según una Normal cuando el valor de la significación sea mayor que 0,05 (valor de la significación $> 0,05$) en el Test de Shapiro Wilk.

La Tabla 366, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio D11), como las variables independientes: Temperatura media y GD15 poseen una Sig $> 0,05$, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 366. Prueba de normalidad para el edificio D11

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D8	,142	16	,200	,946	16	,434
T_med	,150	16	,200	,942	16	,376
GD15_30min	,109	16	,200	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo $[dU, 4-dU]$, de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es:

- para el modelo 1 de 1,646 (Regresión lineal simple)
- para el modelo 2 de 1,065 (Regresión lineal múltiple)

En el modelo 1, $n = 16$ y $k = 1$, según la Tabla 3, el valor $dU = 1,371$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,371, 2,629]$, como el valor del estadístico 1,646 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

En el modelo 2, $n = 16$ y $k = 2$, según la Tabla 3, el valor $dU = 1,539$ y $dL = 0,982$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,539, 2,461]$.

Los intervalos $[0, 0,982]$ y $[3,018, 4]$ indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas $[0,982, 1,539]$ y $[2,461, 3,018]$ son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,065 está dentro del último intervalo no concluyente, se comprueba la ausencia de autocorrelación, mediante el gráfico de residuos frente al tiempo.

La Figura 274, muestra que la relación entre los residuos y el tiempo, posee un coeficiente de determinación = 0,28, por el 28 % de los residuos podrían ser explicados mediante una relación lineal con el tiempo, por lo que se acepta la existencia de una cierta autocorrelación de los residuos del Modelo 2.

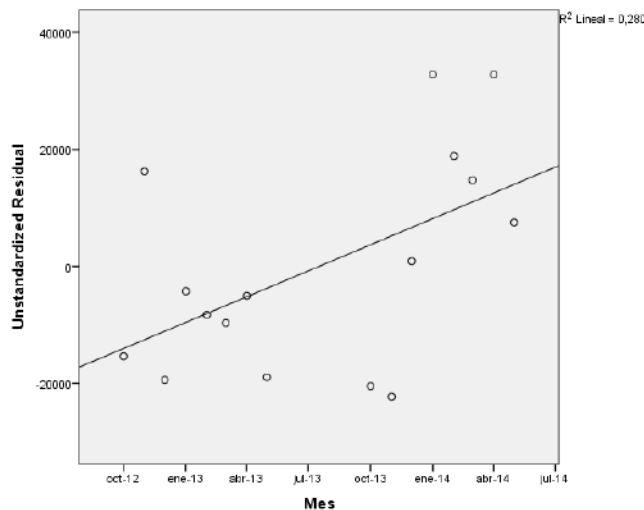


Figura 274. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio D11. Modelo 2

- **Homocedasticidad de la varianza.** Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la(s) variable(s) independiente(s) (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.

Esta condición indica que el error es una variable aleatoria que tomará un valor distinto cada vez que se ejecute el modelo y que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos.

La forma de comprobar la homocedasticidad es verificando si el coeficiente de determinación R^2 , que indica la proporción de la variable dependiente (Y o consumo del edificio) que puede ser explicada por la variación de las variables independientes (las variables climatológicas), en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variables independientes es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Para el modelo 1. Regresión lineal simple, las Figura 275 y Figura 276, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación de $-2,22 \times 10^{-6}$ prácticamente 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

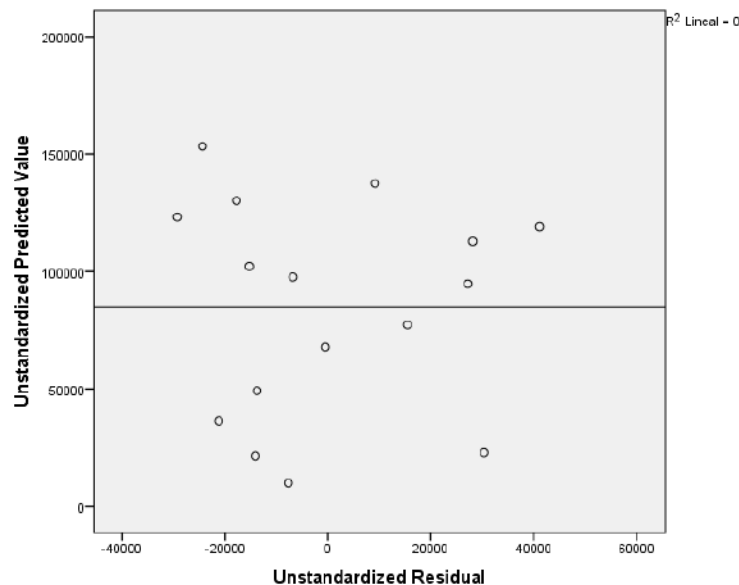


Figura 275. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D11. Modelo 1

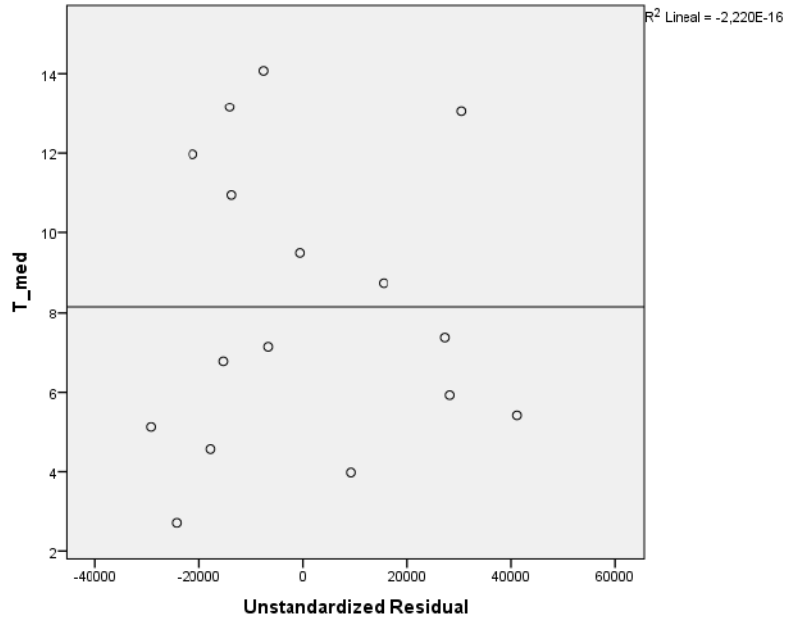


Figura 276. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D11. Modelo 1

Para el modelo 2. Regresión lineal múltiple, las Figura 277, Figura 278 y Figura 279, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0, entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación, también de $-2,22 \times 10^{-16}$, también prácticamente nulo y entre la variable independiente (GD15) y los residuos de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

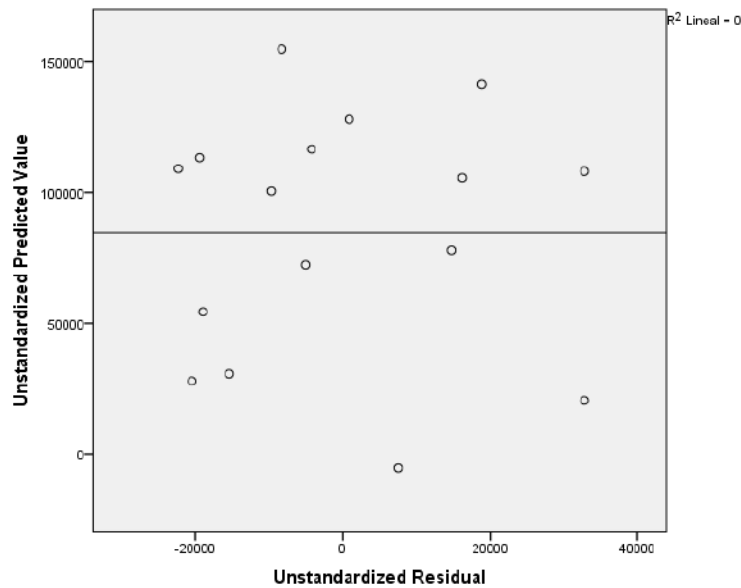


Figura 277. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D11. Modelo 2

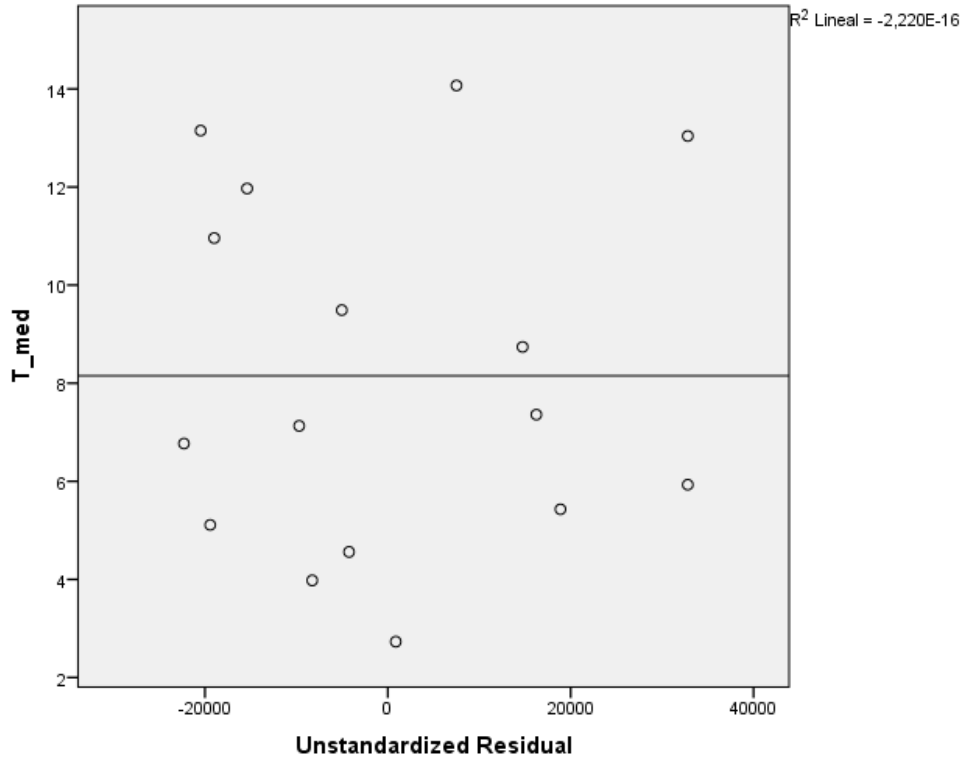


Figura 278. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D11. Modelo 2

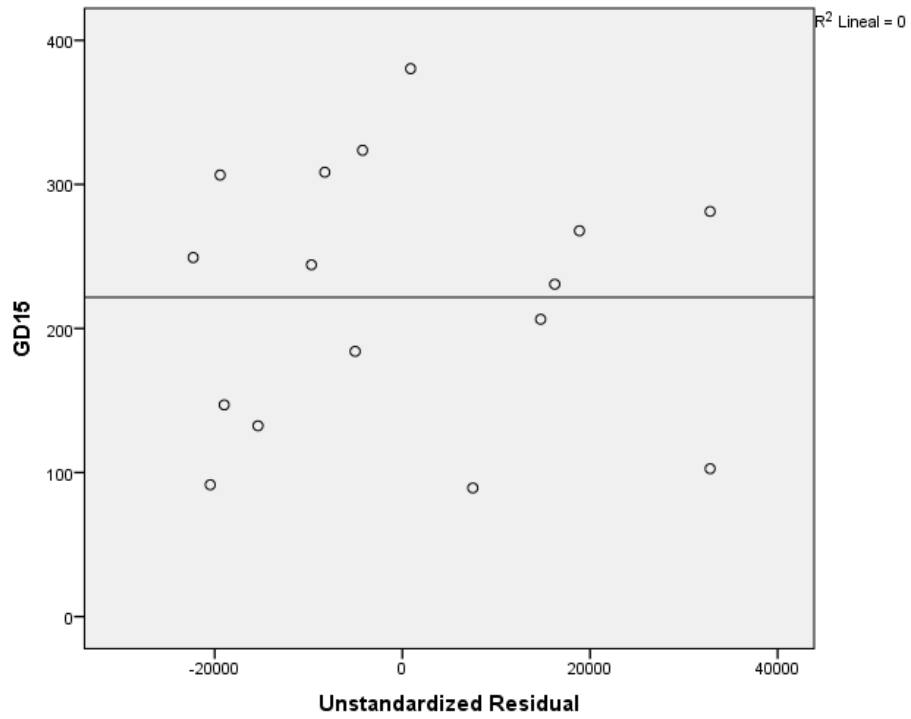


Figura 279. Relación entre Grados día Base 15 y los residuos. Edificio D11. Modelo 2

- Cuando la regresión es lineal múltiple, se comprueba la falta de multicolinealidad o No-Colinealidad entre las variables independientes, es decir que las variables que forman parte del modelo no están correlacionadas entre ellas.

El problema de la multicolinealidad es moderado cuando el índice de condición toma un valor entre 20 y 30 y es grave cuando el índice de condición toma un valor superior a 30. El número de condición mide la sensibilidad de las estimaciones mínimo-cuadráticas ante pequeños cambios en los datos a mayor valor más correlación entre las variables.

La Tabla 367, muestra los índices de condición de las variables del modelo de regresión múltiple, se observa cómo se supera el valor de 30 en el índice de 77,129, por lo que se concluye que existe una gran correlación entre las variables independientes del modelo 2, por lo que este modelo debe ser desechado.

Tabla 367. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio D11

Modelo	Dimensión	Índice de condición
2	1	1,000
	2	3,080
	3	77,129

Esta correlación queda demostrada en la Figura 280, donde se observa que la correlación presenta un coeficiente $R^2 = 0,983$

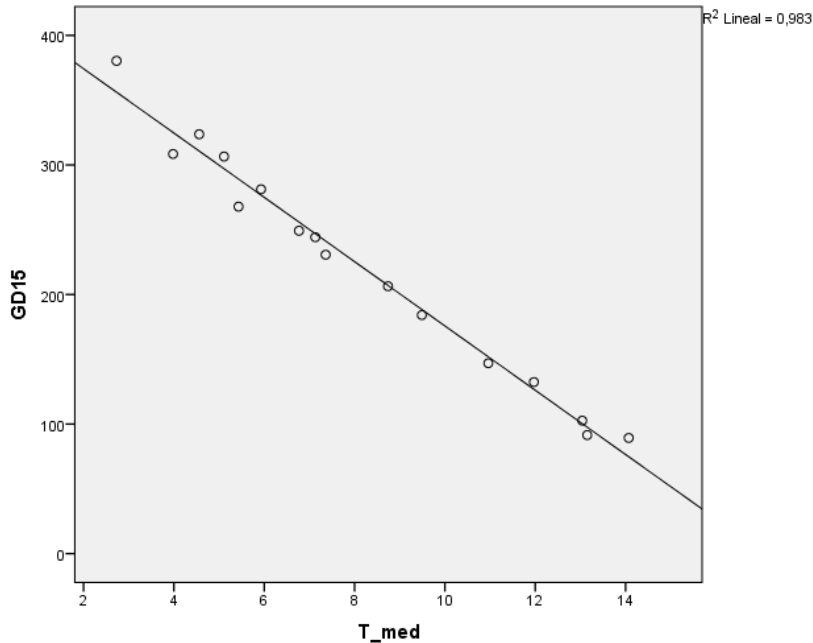


Figura 280. Gráfico de la temperatura media y los Grados día Base 15.

En cuanto a los índices estadísticos de colinealidad como son los niveles Tolerancia y su inverso que son los Factores de Inflación de la Varianza (FIV). El nivel de tolerancia se obtiene restando a 1 el coeficiente de determinación (R^2). Como se observa en la Figura 280, el coeficiente de determinación entre las dos variables independientes es $R^2 = 0,983$, luego la Tolerancia es $T = 1 - R^2 = 1 - 0,983 = 0,017$ y $FIV = 1/T = 58,82$

Si la Tolerancia toma un valor próximo a la unidad no existirá colinealidad (a mayor tolerancia menor colinealidad), en este caso el valor está muy alejado de la unidad, por lo que se deduce que existe multicolinealidad entre las variables independientes. Pueden existir problemas de colinealidad si algún FIV es superior a 10, que corresponde con un R^2 de 0,9 y una Tolerancia menor a 0,1, como es el caso.

La Tabla 368, muestra los estadísticos de colinealidad y se observa como la Tolerancia toma valores de 0,017, muy lejos de 1 y los valores de FIV son superiores a 10, por lo que existen problemas de colinealidad entre la temperatura media y los GD15, lo que provoca el rechazo del Modelo 2 de regresión lineal.

Tabla 368. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio D11

Modelo		Tolerancia	FIV
1	T_med	1,000	1,000
2	T_med	,017	58,820
	GD15	,017	58,820

AIV.11.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el Modelo 1 de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D11.

$$\text{kWh}_{D11_Pronosticado} = 187.840,052 - 12.648,948 \times T_med$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 369, donde “kWh_D11_Real”, representa el consumo real, “kWh_D11_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo. Se prescinde del valor pronosticado para mayo de 2017, por ser un valor imposible, en el estudio de diferencias significativas

Tabla 369. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D11.

	T_med	kWh_D11_Real	kWh_D11_Pronosticado
oct-15	12,82	8.810	25.697
nov-15	8,30	71.160	82.824
dic-15	5,33	68.390	120.437
ene-16	6,23	77.420	108.992
feb-16	5,82	187.398	114.271
mar-16	6,14	86.570	110.139
abr-16	9,10	60.654	72.726
may-16	13,11	11.790	21.959
oct-16	13,48	23.413	17.328
nov-16	6,90	101.456	100.541
dic-16	4,12	64.092	135.702
ene-17	2,52	143.509	156.014
feb-17	6,96	88.654	99.808
mar-17	9,21	69.390	71.351
abr-17	12,58	32.388	28.754
may-17	16,69	9.030	-23.230
oct-17	14,71	5.700	1.758
nov-17	6,09	71.556	110.804
dic-17	3,99	124.822	137.354
ene-18	4,42	123.410	131.924
feb-18	3,53	137.100	143.207
mar-18	6,80	110.644	101.795
abr-18	11,15	55.580	46.851
may-18	14,03	15.860	10.404

AIV.11.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 370

Tabla 370. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D11

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,268	8	,096	,852	8	,101
kWh_pronosticado	,252	8	,144	,839	8	,073

En la Tabla 371, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D11, en un 14,8 %

Tabla 371. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D11

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	71524,0000		8	55184,41383	19510,63662
kWh_pronosticado	82130,6250	14,8%	8	39461,89995	13951,88853

La Tabla 372 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$), a pesar de existir ese 14,8% de diferencia

Tabla 372. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D11

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-10606,625	36604,244	12941,554	-41208,539	19995,289	-,820	7	,439

En la Figura 281, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D11, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

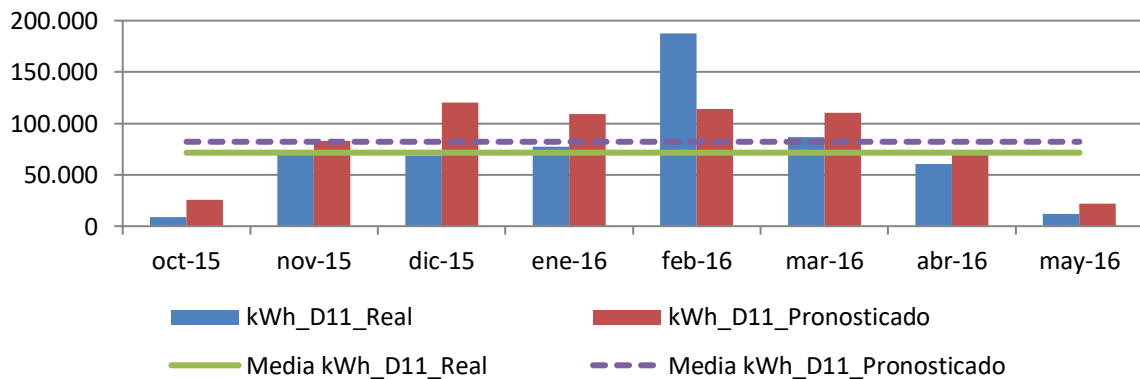


Figura 281. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D11

Para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 373. El número de datos disponibles son 7, dado que el pronóstico para mayo de 2017, resultó un dato negativo.

Tabla 373. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D11

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,133	7	,200	,965	7	,858
kWh_pronosticado	,169	7	,200	,946	7	,695

En la Tabla 374, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D11, en un 16,6 %

Tabla 374. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D11

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	74700,2857		7	41244,52208	15588,96405
kWh_pronosticado	87071,1429	16,6%	7	51597,57814	19502,05143

La Tabla 375 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese 16,6% de diferencia

Tabla 375. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D11

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Diferencias relacionadas				
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-12370,857	27056,817	10226,515	-37394,239	12652,525	-1,210	6	,272

En la Figura 282, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Abril 2017 para el Edificio D11, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

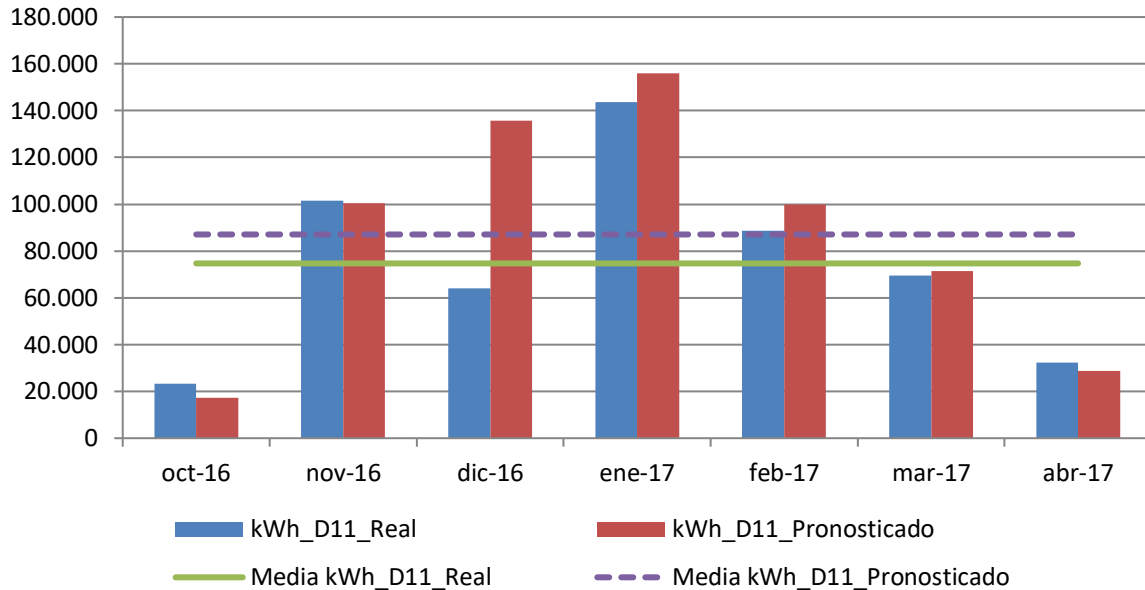


Figura 282. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D11

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 376

Tabla 376. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D11

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,221	8	,200	,892	8	,242
kWh_pronosticado	,236	8	,200	,858	8	,114

En la Tabla 377, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D11, en un 6,1 %

Tabla 377. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D11

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	80584,0000		8	51258,78769	18122,71819
kWh_pronosticado	85512,1250	6,1%	8	57601,85784	20365,33214

La Tabla 378 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar de existir ese 6,1% de diferencia

Tabla 378. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D11

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-4928,125	16092,396	5689,521	-18381,704	8525,454	-,866	7	,415

En la Figura 283 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D11, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

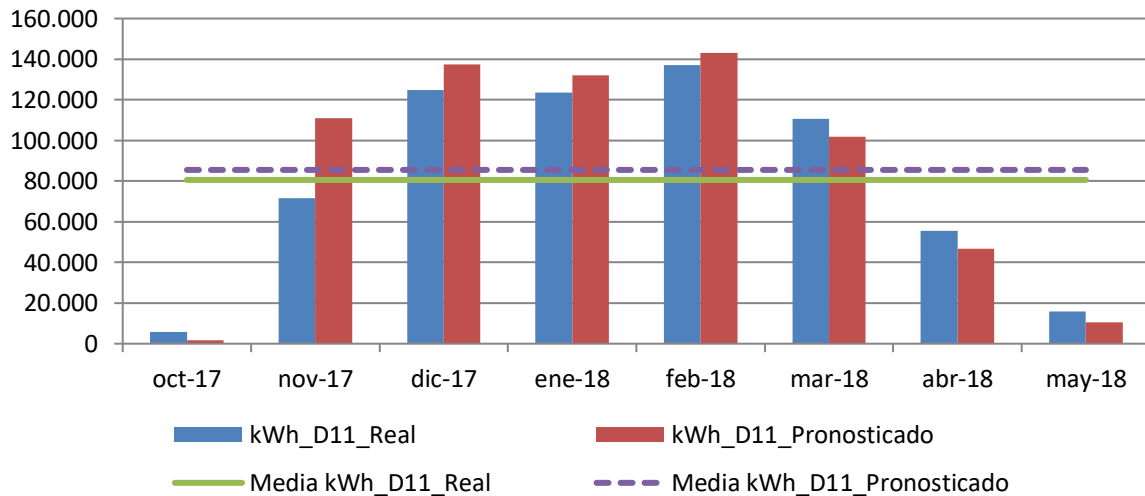


Figura 283. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D11

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 379

Tabla 379. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,099	23	,200	,960	23	,464
kWh_pronosticado	,188	23	,033	,920	23	,065

En la Tabla 380 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D11, en un 12,1 %

Tabla 380. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	75642,0683		23	47793,79323	9965,69479
kWh_pronosticado	84810,4600	12,1%	23	47767,21377	9960,15259

La Tabla 381 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05).

Tabla 381. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-9168,392	26812,880	5590,872	-20763,150	2426,367	-1,640	22	,115

AIV.11.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 382, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor. Al no haberse obtenido diferencias significativas entre el consumo real y el pronosticado, éste último se ha igualado al consumo real.

Tabla 382. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D11.

	kWh_D11 Gas Natural	kWh_D11 Biomasa	kWh_D11 Real Total	kWh_D11 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	8.810	8.810	8.810	0	211	211	2.220	2.009	2.009
nov-2015	0	71.160	71.160	71.160	0	1.708	1.708	17.932	16.224	18.233
dic-2015	0	68.390	68.390	68.390	0	1.641	1.641	17.234	15.593	33.826
ene-2016	0	77.420	77.420	77.420	0	1.858	1.858	19.510	17.652	51.478
feb-2016	76.228	111.170	187.398	187.398	19.209	2.668	21.878	47.224	25.347	76.825
mar-2016	6.040	80.530	86.570	86.570	1.522	1.933	3.455	21.816	18.361	95.185
abr-2016	284	60.370	60.654	60.654	72	1.449	1.520	15.285	13.764	108.950
may-2016	0	11.790	11.790	11.790	0	283	283	2.971	2.688	111.638
oct-2016	12.513	10.900	23.413	23.413	3.153	262	3.415	5.900	2.485	114.123
nov-2016	3.736	97.720	101.456	101.456	942	2.345	3.287	25.567	22.280	136.403
dic-2016	2.232	61.860	64.092	64.092	563	1.485	2.047	16.151	14.104	150.507
ene-2017	10.209	133.300	143.509	143.509	2.573	3.199	5.772	36.164	30.392	180.900
feb-2017	64	88.590	88.654	88.654	16	2.126	2.142	22.341	20.199	201.098
mar-2017	0	69.390	69.390	69.390	0	1.665	1.665	17.486	15.821	216.919
abr-2017	568	31.820	32.388	32.388	143	764	907	8.162	7.255	224.174
may-2017	0	9.030	9.030	9.030	0	217	217	2.276	2.059	226.233
oct-2017	0	5.700	5.700	5.700	0	137	137	1.436	1.300	227.533
nov-2017	416	71.140	71.556	71.556	105	1.707	1.812	18.032	16.220	243.753
dic-2017	2.032	122.790	124.822	124.822	512	2.947	3.459	31.455	27.996	271.749
ene-2018	560	122.850	123.410	123.410	141	2.948	3.090	31.099	28.010	299.758
feb-2018	0	137.100	137.100	137.100	0	3.290	3.290	34.549	31.259	331.017
mar-2018	2.544	108.100	110.644	110.644	641	2.594	3.236	27.882	24.647	355.664
abr-2018	440	55.140	55.580	55.580	111	1.323	1.434	14.006	12.572	368.236
may-2018	0	15.860	15.860	15.860	0	381	381	3.997	3.616	371.852

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 372 Toneladas de CO₂, debido al cambio de combustible de gas natural por biomasa en el edificio D11.

AIV.11.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 383 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 384, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 383. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03228			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02710			

Tabla 384. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D11

	kWh_D11_Gas Natural	kWh_D11_Biomasa	kWh_D11 Real	kWh_D11 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	8.810	8.810	8.810	0	239	239	329	90	90
nov-2015	0	71.160	71.160	71.160	0	1.928	1.928	2.654	726	816
dic-2015	0	68.390	68.390	68.390	0	1.853	1.853	2.551	698	1.513
ene-2016	0	77.420	77.420	77.420	0	2.098	2.098	2.369	271	1.784
feb-2016	76.228	111.170	187.398	187.398	2.333	3.013	5.345	5.734	389	2.173
mar-2016	6.040	80.530	86.570	86.570	185	2.182	2.367	2.649	282	2.455
abr-2016	284	60.370	60.654	60.654	9	1.636	1.645	1.856	211	2.666
may-2016	0	11.790	11.790	11.790	0	320	320	361	41	2.708
oct-2016	12.513	10.900	23.413	23.413	383	295	678	716	38	2.746
nov-2016	3.736	97.720	101.456	101.456	114	2.648	2.763	3.105	342	3.088
dic-2016	2.232	61.860	64.092	64.092	68	1.676	1.745	1.961	217	3.304
ene-2017	10.209	133.300	143.509	143.509	321	3.612	3.933	4.506	573	3.878
feb-2017	64	88.590	88.654	88.654	2	2.401	2.403	2.784	381	4.259
mar-2017	0	69.390	69.390	69.390	0	1.880	1.880	2.179	298	4.557
abr-2017	568	31.820	32.388	32.388	18	862	880	1.017	137	4.694
may-2017	0	9.030	9.030	9.030	0	245	245	284	39	4.733
oct-2017	0	5.700	5.700	5.700	0	154	154	179	25	4.757
nov-2017	416	71.140	71.556	71.556	13	1.928	1.941	2.247	306	5.063
dic-2017	2.032	122.790	124.822	124.822	64	3.328	3.391	3.919	528	5.591
ene-2018	560	122.850	123.410	123.410	19	3.329	3.348	4.147	799	6.390
feb-2018	0	137.100	137.100	137.100	0	3.715	3.715	4.607	891	7.281
mar-2018	2.544	108.100	110.644	110.644	85	2.930	3.015	3.718	703	7.983
abr-2018	440	55.140	55.580	55.580	15	1.494	1.509	1.867	358	8.342
may-2018	0	15.860	15.860	15.860	0	430	430	533	103	8.445
€ Total							47.826	56.271		
Ahorro (%)										15,0%

AIV.12.Edificio D12. Edificio de I+D.

AIV.12.1.Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 385

Tabla 385. Consumos térmicos del edificio D12

Consumos térmicos (kWh). D12	
oct-12	20.755
nov-12	39.191
dic-12	52.395
ene-13	55.517
feb-13	53.024
mar-13	42.283
abr-13	31.248
may-13	24.925
oct-13	15.683
nov-13	41.737
dic-13	65.261
ene-14	48.884
feb-14	45.304
mar-14	34.339
abr-14	17.680
may-14	15.308
Promedio	37.721
Total (oct-12-may-13)	319.338
Total (oct-13-may-14)	284.196
Total (oct-12-may-13)	603.534

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 386 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 15, obtenidos con datos cada 30 minutos). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 15 por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 387 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 386. Modelos de regresión del Edificio D12

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-663,549	436,148	-1,521	,150	-1598,993	271,894
GD15_30min	173,214	1,832	94,550	,000	169,285	177,144

En la Figura 284 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

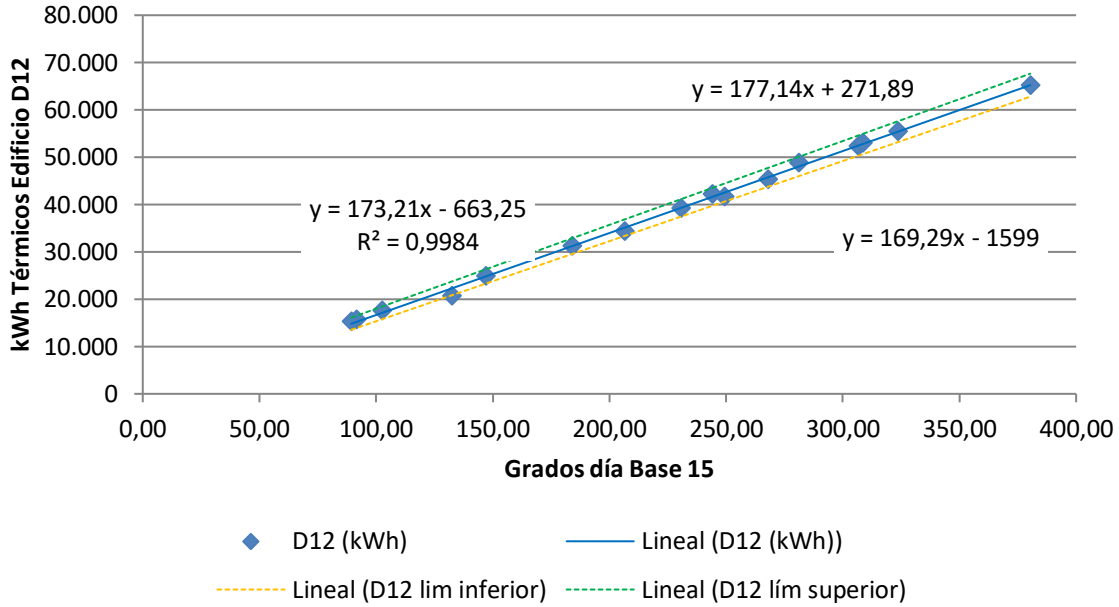


Figura 284. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D12

Tabla 387. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D12

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	,040	,969	,011
	GD15_24h	-,572	,577	-,157
	GD20_24h	-,042	,967	-,012
	T_med_30min_C	,404	,693	,111
	T_media_diurna_C	,092	,928	,025
	T_max_C	-,299	,769	-,083
	T_min_C	,800	,438	,217
	HR_%	,199	,845	,055
	HR_med_diurna_%	,144	,887	,040
1	HR_max_%	,340	,739	,094
	HR_min_%	,315	,758	,087
	Radiación_W/m2	,642	,532	,175
	V_Viento_m/s	,838	,417	,226
	V_viento_diurna_m/s	,731	,478	,199
	V_viento_nocturna_m/s	,973	,348	,261
	V_viento_max_m/s	,619	,547	,169
	Recorrido_viento_km/día	,839	,416	,227
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,055	,957	-,015
	Horas insolación_h	,419	,682	,115

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio D12, se resumen en la Tabla 388

Tabla 388. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D12

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,999	,998	,998	637,64415

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,999, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 99,8% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 638 kWh, lo que representa un 1,7% del promedio de los consumos que fue de 37.721 kWh.

AIV.12.2.Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 386, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio D12) y la independiente (GD15_30min). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 15.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 389, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15 poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 389. Prueba de normalidad para el edificio D12

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_D12	,112	16	,200	,950	16	,489
GD15_30min	,109	16	,200	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,583.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629], como el valor del estadístico 1,583 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 285 y Figura 286, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Grados día base 15) y los residuos un coeficiente de determinación también de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

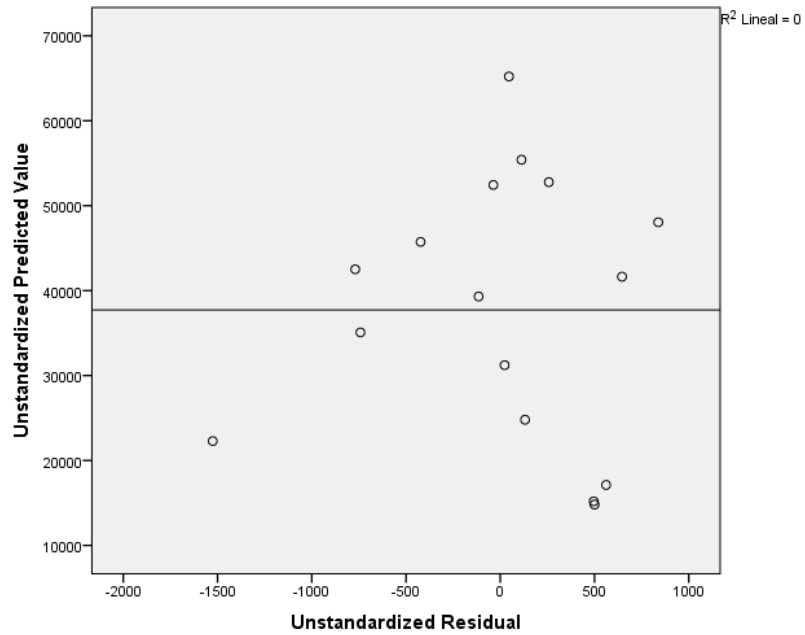


Figura 285. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D12

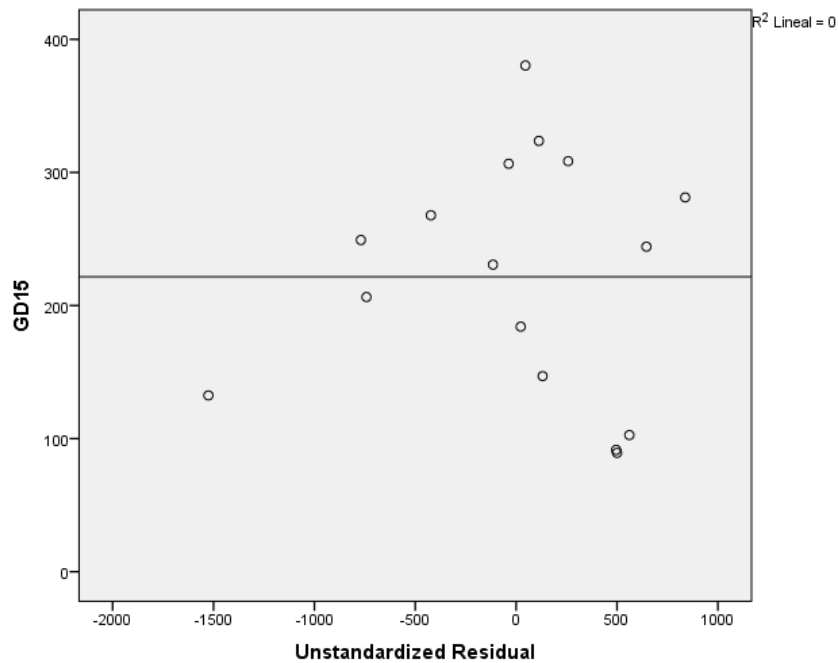


Figura 286. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D12

AIV.12.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio D12.

$$\text{kWh_D12_Pronosticado} = -663,549 + 173,214 \times \text{GD15_30min}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 390, donde “kWh_D12_Real”, representa el consumo real, “kWh_D12_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 390. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D12.

	GD15	kWh_D12_Real	kWh_D12_Pronosticado
oct-15	97,04	6.590	16.146
nov-15	208,36	36.550	35.428
dic-15	300,09	34.820	51.317
ene-16	271,93	39.180	46.439
feb-16	266,36	58.477	45.474
mar-16	276,34	44.763	47.202
abr-16	181,04	27.410	30.696
may-16	99,34	6.310	16.543
oct-16	97,34	7.600	16.197
nov-16	245,69	35.820	41.893
dic-16	337,25	39.872	57.753
ene-17	386,98	47.548	66.368
feb-17	226,76	33.393	38.614
mar-17	203,17	33.195	34.528
abr-17	129,72	12.700	21.806
may-17	54,86	2.318	8.839
oct-17	92,31	3.530	15.327
nov-17	271,60	33.788	46.382
dic-17	341,26	46.710	58.447
ene-18	327,94	51.528	56.141
feb-18	321,27	59.290	54.984
mar-18	255,02	52.218	43.509
abr-18	143,31	29.262	24.159
may-18	78,41	5.570	12.918

AIV.12.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $>0,05$, como se observa en la Tabla 391

Tabla 391. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D12

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,192	8	,200	,924	8	,461
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,135

En la Tabla 392, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D12, en un 13,8 %

Tabla 392. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D12

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	31762,5000		8	18009,49768	6367,31897
kWh_pronosticado	36155,6250	13,8%	8	13937,85545	4927,77605

La Tabla 393 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $>0,05$), a pesar de existir ese 13,8% de diferencia

Tabla 393. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D12

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Diferencias relacionadas				
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-4393,125	8892,714	3144,049	-11827,620	3041,370	-1,397	7	,205

En la Figura 287, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio D12, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, por lo que no se puede afirmar la existencia de ahorros en el consumo térmico entre la situación anterior y posterior a la red de calor, con un riesgo a estar equivocados del 5%

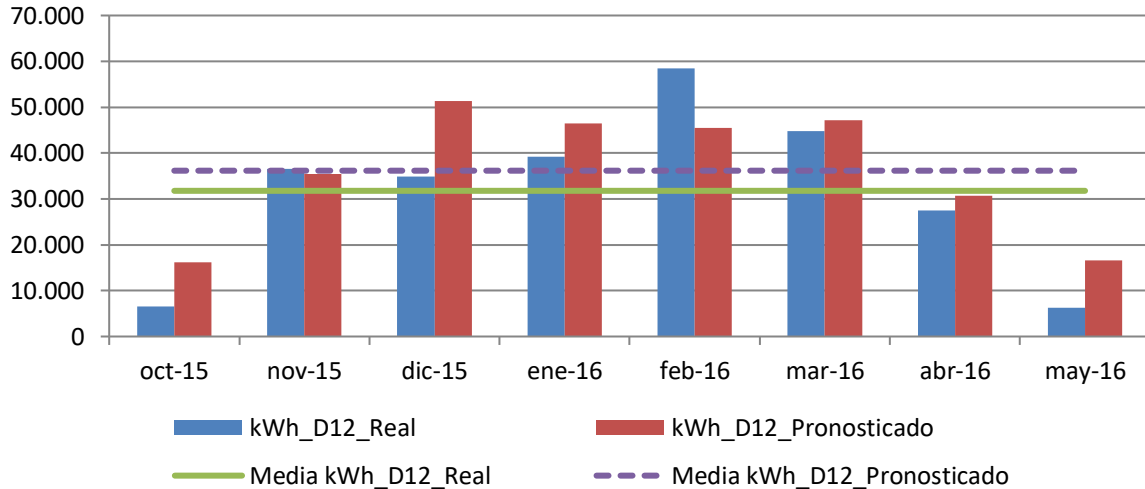


Figura 287. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D12

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 394

Tabla 394. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D12

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,280	8	,064	,897	8	,269
kWh_pronosticado	,133	8	,200	,965	8	,856

En la Tabla 395, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D12, en un 34,6 %

Tabla 395. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D12

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	26555,7500		8	16619,35972	5875,83098
kWh_pronosticado	35749,7500	34,6%	8	19892,50766	7033,06353

La Tabla 396 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 396. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D12

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-9194,000	6129,013	2166,933	-14317,983	-4070,017	-4,243	7	,004

En la Figura 288 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio D12, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

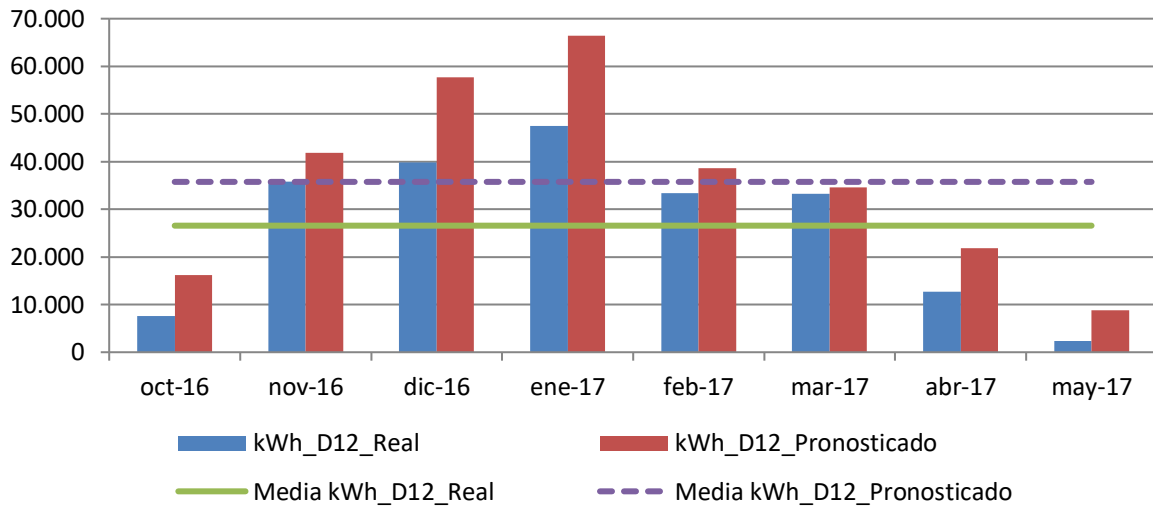


Figura 288. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D12

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 397

Tabla 397. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D12

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,205	8	,200	,885	8	,212
kWh_pronosticado	,220	8	,200	,860	8	,119

En la Tabla 398, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D12, en un 10,6 %

Tabla 398. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D12

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	35237,0000		8	21338,06975	7544,14691
kWh_pronosticado	38983,3750	10,6%	8	18758,79860	6632,23685

La Tabla 399 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05), a pesar del 10,6% de diferencia

Tabla 399. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D12

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-3746,375	8610,246	3044,182	-10944,721	3451,971	-1,231	7	,258

En la Figura 289, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio D12, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

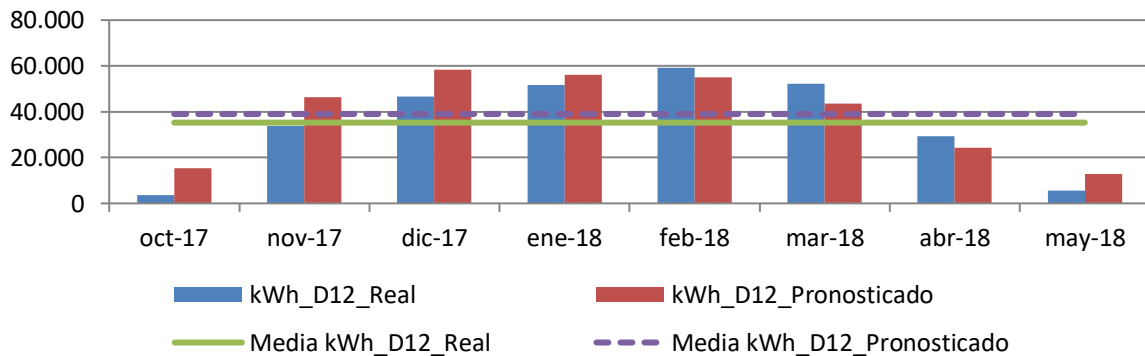


Figura 289. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D12

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 400

Tabla 400. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,169	24	,075	,914	24	,052
kWh_pronosticado	,135	24	,200	,942	24	,183

En la Tabla 401 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio D12, en un 18,5 %

Tabla 401. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	31185,0833		24	18292,86596	3734,01563
kWh_pronosticado	36962,9167	18,5%	24	16994,53028	3468,99397

La Tabla 402 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 402. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-5777,833	8014,080	1635,867	-9161,882	-2393,784	-3,532	23	,002

AIV.12.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 403, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 403. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D12.

	kWh_ D12 Gas Natural	kWh_ D12 Biomasa	kWh_ D12 Real Total	kWh_ D12 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	6.590	6.590	16.146	0	158	158	4.069	3.911	3.911
nov-2015	0	36.550	36.550	35.428	0	877	877	8.928	8.051	11.961
dic-2015	0	34.820	34.820	51.317	0	836	836	12.932	12.096	24.057
ene-2016	0	39.180	39.180	46.439	0	940	940	11.703	10.762	34.820
feb-2016	12.177	46.300	58.477	45.474	3.069	1.111	4.180	11.460	7.280	42.099
mar-2016	2.793	41.970	44.763	47.202	704	1.007	1.711	11.895	10.184	52.283
abr-2016	0	27.410	27.410	30.696	0	658	658	7.735	7.077	59.361
may-2016	0	6.310	6.310	16.543	0	151	151	4.169	4.017	63.378
oct-2016	1.800	5.800	7.600	16.197	454	139	593	4.082	3.489	76.564
nov-2016	0	35.820	35.820	41.893	0	860	860	10.557	9.697	86.867
dic-2016	72	39.800	39.872	57.753	18	955	973	14.554	13.580	90.145
ene-2017	128	47.420	47.548	66.368	32	1.138	1.170	16.725	15.554	105.699
feb-2017	63	33.330	33.393	38.614	16	800	816	9.731	8.915	114.614
mar-2017	265	32.930	33.195	34.528	67	790	857	8.701	7.844	122.458
abr-2017	0	12.700	12.700	21.806	0	305	305	5.495	5.190	127.648
may-2017	368	1.950	2.318	8.839	93	47	140	2.227	2.088	129.736
oct-2017	0	3.530	3.530	15.327	0	85	85	3.862	3.778	133.514
nov-2017	88	33.700	33.788	46.382	22	809	831	11.688	10.857	144.371
dic-2017	0	46.710	46.710	58.447	0	1.121	1.121	14.729	13.608	157.978
ene-2018	8	51.520	51.528	56.141	2	1.236	1.238	14.147	12.909	170.887
feb-2018	0	59.290	59.290	54.984	0	1.423	1.423	13.856	12.433	183.320
mar-2018	888	51.330	52.218	43.509	224	1.232	1.456	10.964	9.509	192.829
abr-2018	112	29.150	29.262	24.159	28	700	728	6.088	5.360	198.189
may-2018	0	5.570	5.570	12.918	0	134	134	3.255	3.122	201.311

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 201 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio D12.

AIV.12.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 404 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 405, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 404. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03846			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,03256			

Tabla 405. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D12

	kWh_D1 2_Gas Natural	kWh_D12 _Biomasa	kWh_D1 2 Real	kWh_D12 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	6.590	6.590	16.146	0	215	215	602	388	388
nov-2015	0	36.550	36.550	35.428	0	1.190	1.190	1.321	131	519
dic-2015	0	34.820	34.820	51.317	0	1.134	1.134	1.914	780	1.299
ene-2016	0	39.180	39.180	46.439	0	1.276	1.276	1.421	145	1.445
feb-2016	12.177	46.300	58.477	45.474	373	1.508	1.880	1.392	-489	956
mar-2016	2.793	41.970	44.763	47.202	85	1.367	1.452	1.444	-8	949
abr-2016	0	27.410	27.410	30.696	0	892	892	939	47	995
may-2016	0	6.310	6.310	16.543	0	205	205	506	301	1.296
oct-2016	1.800	5.800	7.600	16.197	55	189	244	496	252	1.548
nov-2016	0	35.820	35.820	41.893	0	1.166	1.166	1.282	116	1.663
dic-2016	72	39.800	39.872	57.753	2	1.296	1.298	1.767	469	2.133
ene-2017	128	47.420	47.548	66.368	4	1.544	1.548	2.084	536	2.668
feb-2017	63	33.330	33.393	38.614	2	1.085	1.087	1.212	125	2.794
mar-2017	265	32.930	33.195	34.528	8	1.072	1.081	1.084	4	2.797
abr-2017	0	12.700	12.700	21.806	0	414	414	685	271	3.069
may-2017	368	1.950	2.318	8.839	12	63	75	278	202	3.271
oct-2017	0	3.530	3.530	15.327	0	115	115	481	366	3.637
nov-2017	88	33.700	33.788	46.382	3	1.097	1.100	1.456	356	3.994
dic-2017	0	46.710	46.710	58.447	0	1.521	1.521	1.835	314	4.308
ene-2018	8	51.520	51.528	56.141	0	1.677	1.678	1.886	209	4.517
feb-2018	0	59.290	59.290	54.984	0	1.930	1.930	1.847	-83	4.434
mar-2018	888	51.330	52.218	43.509	30	1.671	1.701	1.462	-239	4.194
abr-2018	112	29.150	29.262	24.159	4	949	953	812	-141	4.053
may-2018	0	5.570	5.570	12.918	0	181	181	434	253	4.306
€ Total							24.336	28.642		
Ahorro (%)										15,0%

ANEXO V. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS RÍO ESGUEVA

AV.1. Edificio E1. Edificio del Servicio de Mantenimiento.

AV.1.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 406

Tabla 406. Consumos térmicos del edificio E1

Consumos térmicos (kWh). E1	
oct-12	18.416,98
nov-12	32.083,02
dic-12	16.490,99
ene-13	17.414,18
feb-13	16.594,82
mar-13	21.437,57
abr-13	16.160,91
may-13	12.901,52
oct-13	6.408,89
nov-13	17.454,78
dic-13	26.636,34
ene-14	14.990,03
feb-14	14.276,27
mar-14	11.000,12
abr-14	5.472,34
may-14	4.761,24
Promedio	15.781
Total (oct-12-may-13)	151.500
Total (oct-13-may-14)	101.000
Total (oct-12-may-13)	252.500

Como se puede ver en la Tabla 407 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 20, obtenidos con datos cada 24 horas). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 20 cada 24 h, por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,006). El resto de las variables como se observa en la Tabla 408 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 407. Modelos de regresión del Edificio E1

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-97,801	5090,328	-,019	,985	-11015,469	10819,867
GD20_24h	44,252	13,632	3,246	,006	15,014	73,489

En la Figura 290 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

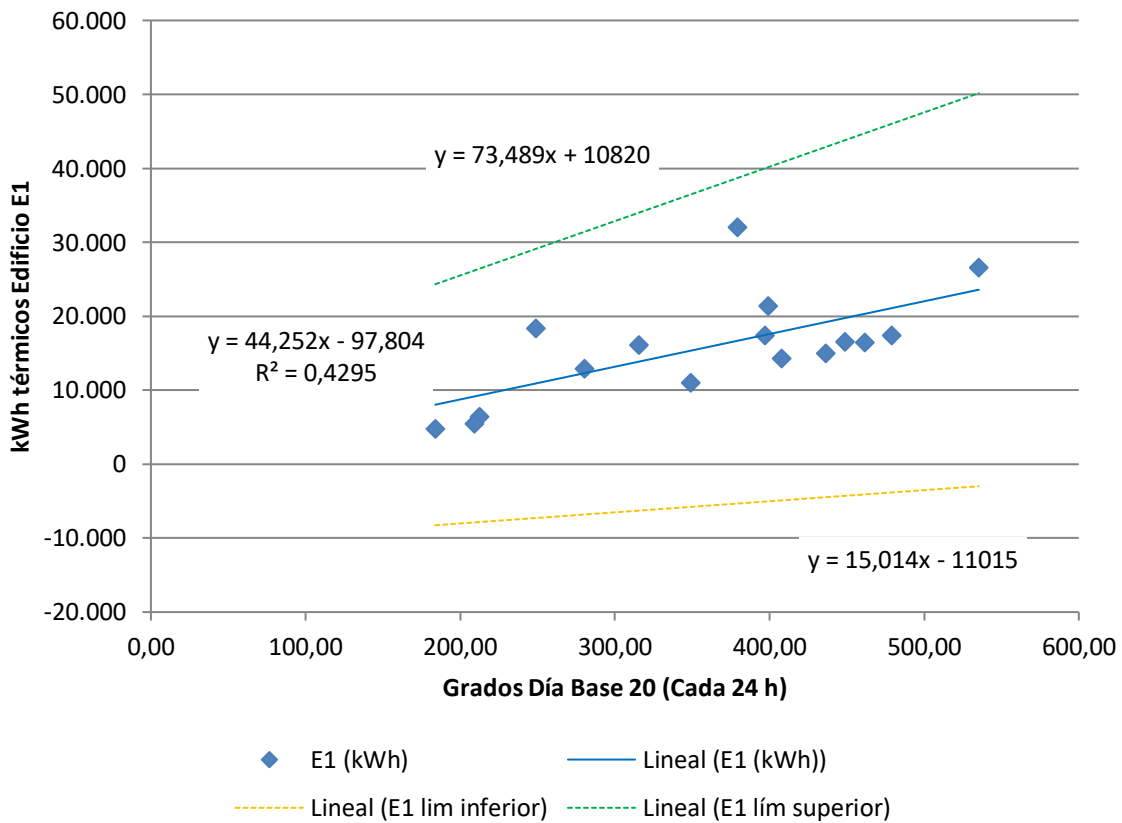


Figura 290. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E1

Tabla 408. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E1

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,986	,342	-,264
	GD20_30min	-,364	,722	-,100
	GD15_24h	-,320	,754	-,088
	T_med_30min_C	,347	,734	,096
	T_media_diurna_C	-,099	,923	-,027
	T_max_C	-,015	,988	-,004
	T_min_C	,701	,496	,191
	HR_%	1,018	,327	,272
	HR_med_diurna_%	,997	,337	,267
1	HR_max_%	1,026	,323	,274
	HR_min_%	,777	,451	,211
	V_Viento_m/s	-1,666	,120	-,419
	V_viento_diurna_m/s	-1,499	,158	-,384
	V_viento_nocturna_m/s	-1,848	,088	-,456
	V_viento_max_m/s	-1,157	,268	-,305
	Recorrido_viento_km/día	-1,652	,122	-,417
	Precipitación_acumulada_mes_mm	2,040	,062	,492
	Horas insolación_h	-,346	,735	-,096
	Radiación_W/m2	-,884	,393	-,238

La bondad del modelo de regresión obtenido para el edificio E1, se resumen en la Tabla 409

Tabla 409. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E1

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,655	,429	,389	5.634,0659

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,655, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera no muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 42,9% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 5.634 kWh, lo que representa un 35,7% del promedio de los consumos que fue de 15.781 kWh.

AV.1.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 407, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,006, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E1) y la independiente (GD20_24h). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 20.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula la que la distribución es Normal.

La Tabla 410, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD20 poseen una Sig $>0,05$, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 410. Prueba de normalidad para el edificio E1

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E1	,170	16	,200	,942	16	,368
GD20_24h	,139	16	,200	,952	16	,517

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo $[dU, 4-dU]$, de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,286.

En el modelo, $n = 16$ y $k = 1$, según la Tabla 3 el valor $dU = 1,371$ y $dL = 1,106$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,371, 2,629]$.

Los intervalos $[0, 1,106]$ y $[2,896, 4]$ indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas $[1,106, 1,371]$ y $[2,629, 2,896]$ son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,286 está dentro del primer intervalo no concluyente, se comprueba la ausencia de autocorrelación, mediante el gráfico de residuos frente al tiempo.

La Figura 291, muestra que la relación entre los residuos y el tiempo, posee un coeficiente de determinación = 0,297, bajo, aunque no nulo; por lo que se concluye que existe una baja autocorrelación en los residuos.

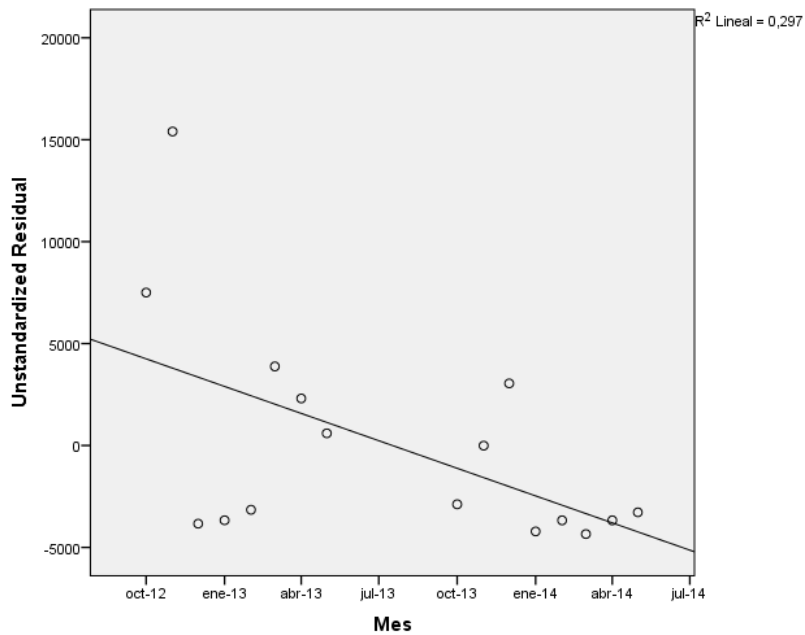


Figura 291. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio E1

- **Homocedasticidad de la varianza.** Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas. Las Figura 292 y Figura 293, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Grados día base 20) y los residuos un coeficiente de determinación de $3,331 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

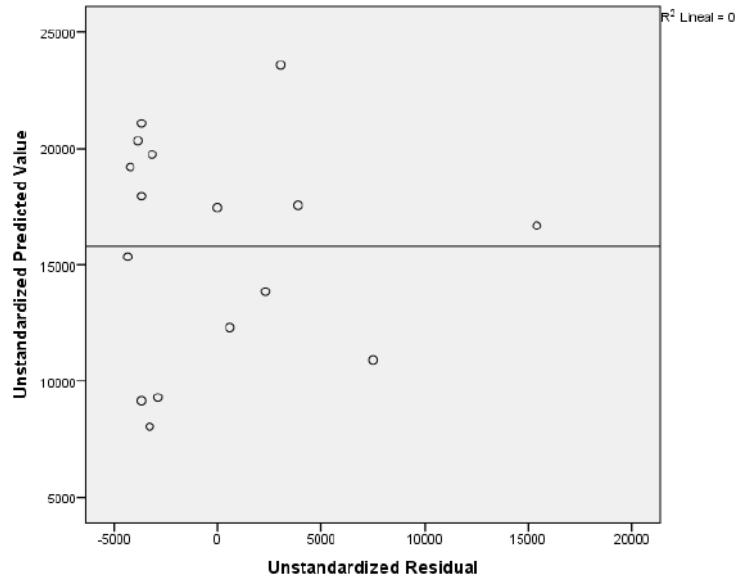


Figura 292. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E1

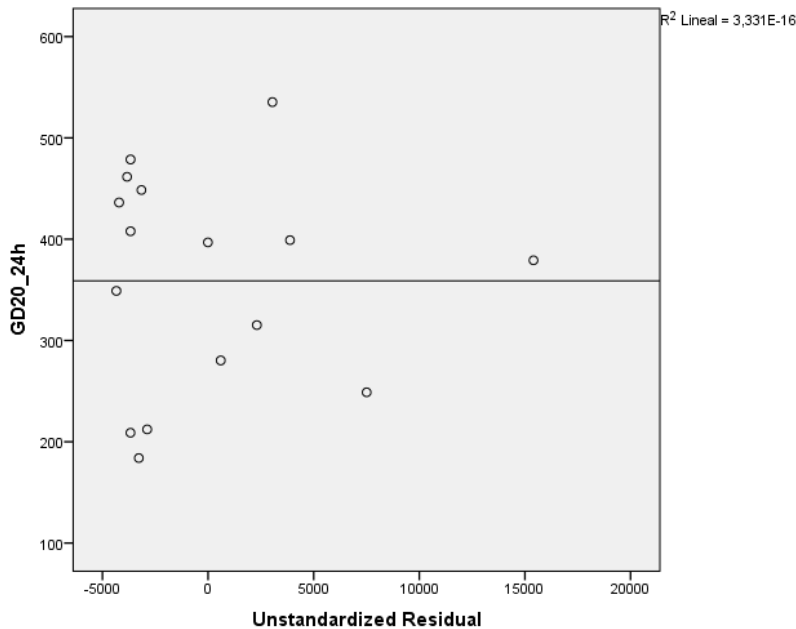


Figura 293. Relación entre GD20_24h y los residuos en el Edificio E1

AV.1.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio E1.

$$\text{kWh_E1_Pronosticado} = -97,801 + 44,252 \times \text{GD20_24h}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 411, donde “kWh_E1_Real”, representa el consumo real redistribuido, “kWh_E1_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 411. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E1.

	GD20_24h	kWh_E1_Real	kWh_E1_Pronosticado
oct-15	222,62	2.410	9.754
nov-15	350,93	6.295	15.432
dic-15	454,81	5.973	20.028
ene-16	426,76	4.501	18.787
feb-16	411,33	22.898	18.104
mar-16	429,57	10.846	18.912
abr-16	326,98	8.541	14.372
may-16	213,46	2.444	9.348
oct-16	202,11	2.094	8.846
nov-16	392,95	8.681	17.291
dic-16	492,22	8.311	21.684
ene-17	542,00	15.891	23.887
feb-17	365,13	10.605	16.060
mar-17	334,51	9.821	14.705
abr-17	222,69	3.962	9.757
may-17	111,78	1.035	4.849
oct-17	164,47	1.462	7.180
nov-17	417,29	9.358	18.368
dic-17	496,27	12.659	21.863
ene-18	482,96	14.052	21.274
feb-18	461,20	17.125	20.311
mar-18	409,12	14.234	18.007
abr-18	265,61	6.280	11.656
may-18	185,14	2.132	8.095

AV.1.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales no se distribuyen según una Normal ($\text{sig} \leq 0,05$), aunque los pronosticados si ($\text{Sig} > 0,05$), como se observa en la Tabla 412

Tabla 412. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,225	8	,200	,799	8	,028
kWh_pronosticado	,226	8	,200	,868	8	,144

Al no cumplirse la hipótesis de la normalidad de los datos no se puede aplicar la “t” de Student para analizar si existen diferencias significativas en esta primera temporada.

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 413

Tabla 413. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,186	8	,200	,947	8	,684
kWh_pronosticado	,148	8	,200	,969	8	,888

En la Tabla 414, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E1, en un 93,8 %

Tabla 414. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E1

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	7550,0000		8	4942,64149	1747,48766
kWh_pronosticado	14634,8750	93,8%	8	6518,66514	2304,69616

La Tabla 415 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 415. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E1

Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
		-7084,875	2992,138	1057,880	-9586,365	-4583,385	-6,697	7	,000

En la Figura 294 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E1, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

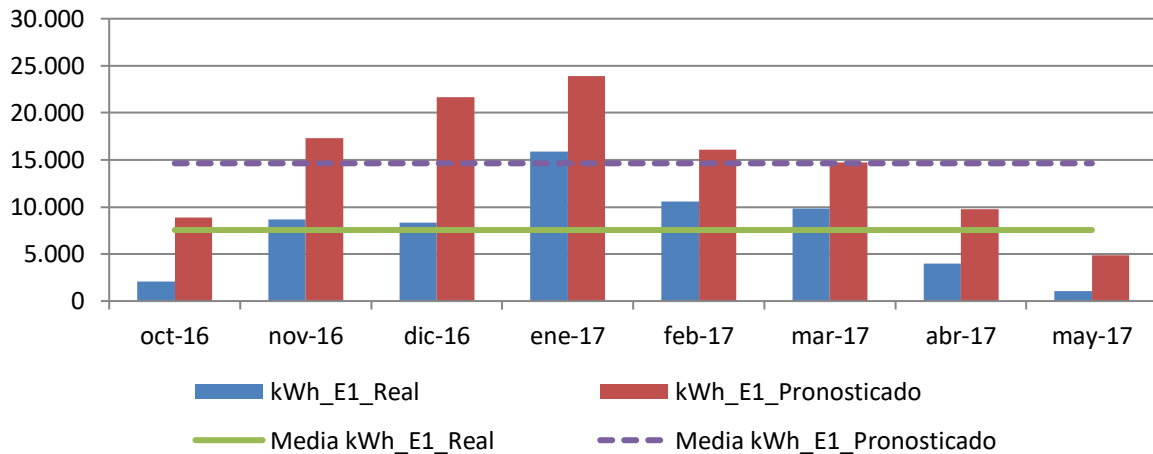


Figura 294. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E1

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 416

Tabla 416. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,195	8	,200	,918	8	,413
kWh_pronosticado	,266	8	,099	,853	8	,103

En la Tabla 417, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E1, en un 64,0 %

Tabla 417. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	9662,7500		8	5859,36244	2071,59746
kWh_pronosticado	15844,2500	64,0%	8	5968,58126	2110,21214

La Tabla 418 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig ≤ 0,05)

Tabla 418. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-6181,500	2200,774	778,091	-8021,393	-4341,606	-7,944	7	,000

En la Figura 295, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E1, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

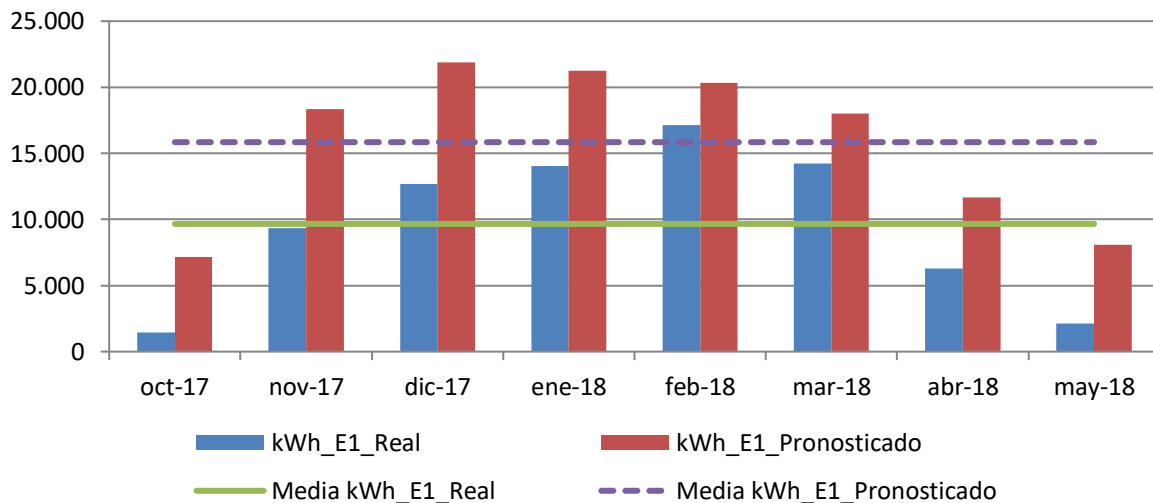


Figura 295. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 419

Tabla 419. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,103	24	,200	,942	24	,178
kWh_pronosticado	,146	24	,200	,942	24	,177

En la Tabla 420 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E1, en un 82,8 %

Tabla 420. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	8400,4167		24	5683,46771	1160,13299
kWh_pronosticado	15357,0833	82,8%	24	5417,90283	1105,92478

La Tabla 421 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig ≤ 0,05)

Tabla 421. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-6956,667	3907,076	797,529	-8606,480	-5306,853	-8,723	23	,000

AV.1.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gasóleo se producen 0,311 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 422, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gasóleo originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 422. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E1.

	kWh_E1 Gasóleo	kWh_E1 Biomasa	kWh_E1 Real Total	kWh_E1 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gasóleo	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gasóleo	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	2.410	2.410	9.754	0	58	58	3.033	2.976	2.976
nov-2015	0	6.295	6.295	15.432	0	151	151	4.799	4.648	7.624
dic-2015	0	5.973	5.973	20.028	0	143	143	6.229	6.085	13.709
ene-2016	0	4.501	4.501	18.787	0	108	108	5.843	5.735	19.444
feb-2016	10.217	12.681	22.898	18.104	3.177	304	3.482	5.630	2.149	21.593
mar-2016	101	10.745	10.846	18.912	31	258	289	5.881	5.592	27.185
abr-2016	76	8.465	8.541	14.372	24	203	227	4.470	4.243	31.428
may-2016	8	2.436	2.444	9.348	3	58	61	2.907	2.846	34.274
oct-2016	378	1.716	2.094	8.846	117	41	159	2.751	2.592	36.866
nov-2016	262	8.419	8.681	17.291	82	202	284	5.378	5.094	41.960
dic-2016	0	8.311	8.311	21.684	0	199	199	6.744	6.544	48.504
ene-2017	23	15.868	15.891	23.887	7	381	388	7.429	7.041	55.545
feb-2017	39	10.566	10.605	16.060	12	254	266	4.995	4.729	60.274
mar-2017	54	9.767	9.821	14.705	17	234	251	4.573	4.322	64.596
abr-2017	0	3.962	3.962	9.757	0	95	95	3.034	2.939	67.536
may-2017	77	958	1.035	4.849	24	23	47	1.508	1.461	68.997
oct-2017	0	1.462	1.462	7.180	0	35	35	2.233	2.198	71.195
nov-2017	0	9.358	9.358	18.368	0	225	225	5.712	5.488	76.682
dic-2017	0	12.659	12.659	21.863	0	304	304	6.799	6.496	83.178
ene-2018	0	14.052	14.052	21.274	0	337	337	6.616	6.279	89.457
feb-2018	0	17.125	17.125	20.311	0	411	411	6.317	5.906	95.363
mar-2018	0	14.234	14.234	18.007	0	342	342	5.600	5.258	100.621
abr-2018	0	6.280	6.280	11.656	0	151	151	3.625	3.474	104.096
may-2018	0	2.132	2.132	8.095	0	51	51	2.518	2.466	106.562

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 107 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio E1.

AV.1.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 423 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 424, muestran el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 423. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,0560
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,0928			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,0804			

Tabla 424. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E1

	kWh_E1 Gasóleo	kWh_E1_ Biomasa	kWh_E1 Real	kWh_E1 Pronosticado	€ Real Gasóleo	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gasóleo	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	2.410	2.410	9.754	0	194	194	504	310	310
nov-2015	0	6.295	6.295	15.432	0	506	506	798	292	602
dic-2015	0	5.973	5.973	20.028	0	480	480	1.035	555	1.157
ene-2016	0	4.501	4.501	18.787	0	362	362	821	459	1.617
feb-2016	10.217	12.681	22.898	18.104	446	1.020	1.466	791	-675	942
mar-2016	101	10.745	10.846	18.912	4	864	868	826	-42	900
abr-2016	76	8.465	8.541	14.372	3	681	684	628	-56	844
may-2016	8	2.436	2.444	9.348	0	196	196	409	212	1.056
oct-2016	378	1.716	2.094	8.846	17	138	154	387	232	1.288
nov-2016	262	8.419	8.681	17.291	11	677	688	756	67	1.356
dic-2016	0	8.311	8.311	21.684	0	668	668	948	279	1.635
ene-2017	23	15.868	15.891	23.887	1	1.276	1.277	1.192	-85	1.550
feb-2017	39	10.566	10.605	16.060	2	850	851	801	-50	1.500
mar-2017	54	9.767	9.821	14.705	3	785	788	734	-54	1.446
abr-2017	0	3.962	3.962	9.757	0	319	319	487	168	1.614
may-2017	77	958	1.035	4.849	4	77	81	242	161	1.775
oct-2017	0	1.462	1.462	7.180	0	118	118	358	241	2.016
nov-2017	0	9.358	9.358	18.368	0	752	752	917	164	2.180
dic-2017	0	12.659	12.659	21.863	0	1.018	1.018	1.091	73	2.253
ene-2018	0	14.052	14.052	21.274	0	1.130	1.130	1.191	62	2.315
feb-2018	0	17.125	17.125	20.311	0	1.377	1.377	1.137	-239	2.075
mar-2018	0	14.234	14.234	18.007	0	1.144	1.144	1.008	-136	1.939
abr-2018	0	6.280	6.280	11.656	0	505	505	653	148	2.087
may-2018	0	2.132	2.132	8.095	0	171	171	453	282	2.369
€ Total							15.798	18.167		
Ahorro (%)										15,0%

AV.2. Edificio E2. Facultad de Comercio.

AV.2.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 425

Tabla 425. Consumos térmicos del edificio E2

Consumos térmicos (kWh). E2	
oct-12	36.833,95
nov-12	64.166,05
dic-12	47.218,91
ene-13	49.862,29
feb-13	84.570,38
mar-13	66.954,98
abr-13	50.474,64
may-13	30.436,06
oct-13	18.950,83
nov-13	51.613,11
dic-13	120.014,79
ene-14	88.737,04
feb-14	84.511,77
mar-14	78.484,56
abr-14	39.044,51
may-14	33.970,93
Promedio	59.115
Total (oct-12-may-13)	430.517
Total (oct-13-may-14)	515.328
Total (oct-12-may-13)	945.845

Como se puede ver en la Tabla 426 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Temperatura mínima). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo la Temp_min, por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 427 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 426. Modelos de regresión del Edificio E2

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	83663,793	6067,812	13,788	,000	70649,630	96677,957
T_min	-7896,580	1478,869	-5,340	,000	-11068,439	-4724,721

En la Figura 296 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

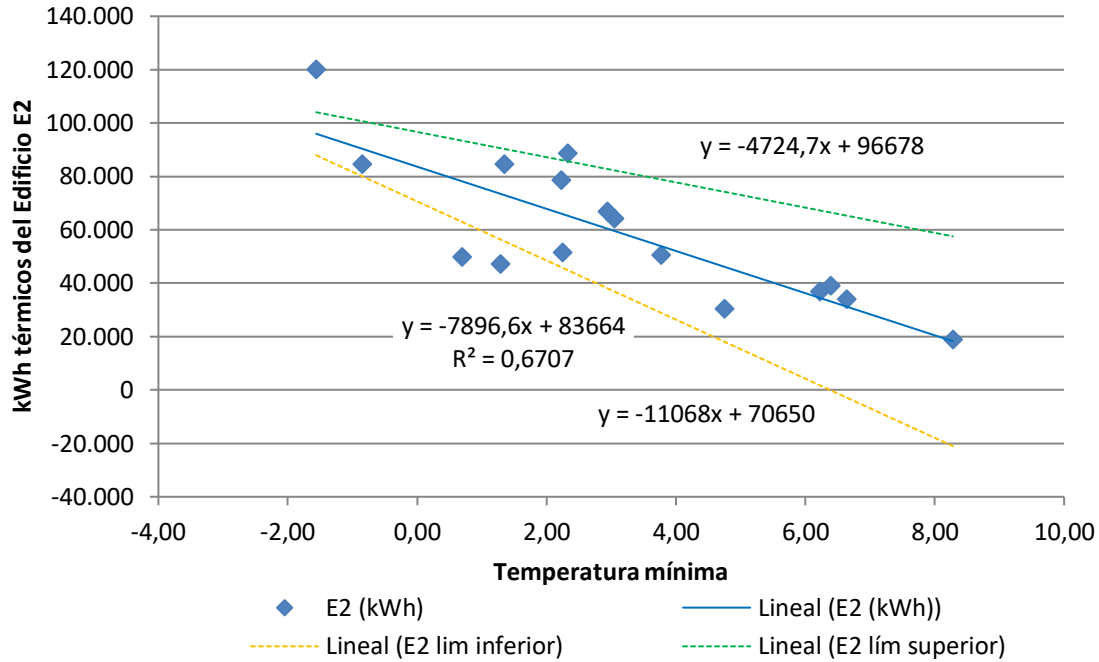


Figura 296. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E2

Tabla 427. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E2

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,214	,834	-,059
	GD20_30min	-,273	,789	-,075
	GD15_24h	-,233	,819	-,065
	GD20_24h	-,301	,768	-,083
	T_med_30min_C	,292	,775	,081
	T_media_diurna_C	,289	,777	,080
	T_max_C	,526	,608	,144
	HR_%	-,371	,717	-,102
	HR_med_diurna_%	-,303	,767	-,084
1	HR_max_%	-,621	,545	-,170
	HR_min_%	-,494	,629	-,136
	V_Viento_m/s	,758	,462	,206
	V_viento_diurna_m/s	,796	,440	,216
	V_viento_nocturna_m/s	,709	,491	,193
	V_viento_max_m/s	,822	,426	,222
	Recorrido_viento_km/día	,770	,455	,209
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,164	,872	,045
	Horas insolación_h	-,059	,953	-,016
	Radiación_W/m2	,130	,899	,036

La bondad del modelo de regresión obtenido para el edificio E2, se resumen en la Tabla 428

Tabla 428. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio D2

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,819	,671	,647	15840,1721

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,819, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es inversa, al aumentar el valor de la Temperatura mínima, disminuye el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 67,1% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 15.840 kWh, lo que representa un 26,8% del promedio de los consumos que fue de 59.115 kWh.

AV.2.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 426, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E2) y la independiente (T_min). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura mínima.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula la que la distribución es Normal.

La Tabla 429, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: T_min poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 429. Prueba de normalidad para el edificio E2

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E2	,170	16	,200	,953	16	,545
T_min	,133	16	,200	,968	16	,813

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,149.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629].

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,149 está dentro del primer intervalo no concluyente, se comprueba la ausencia de autocorrelación, mediante el gráfico de residuos frente al tiempo.

La Figura 297, muestra que la relación entre los residuos y el tiempo, posee un coeficiente de determinación = 0,280, bajo, aunque no nulo; por lo que se concluye que existe una baja autocorrelación en los residuos.

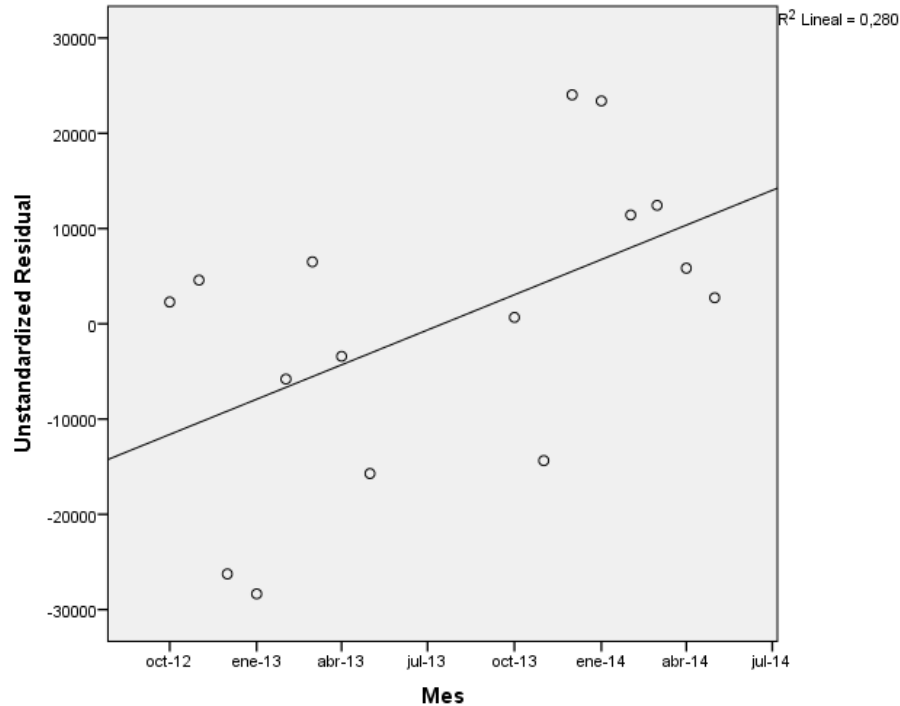


Figura 297. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio E2

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 298 y Figura 299, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (T_{min}) y los residuos un coeficiente de determinación de $-2,22 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

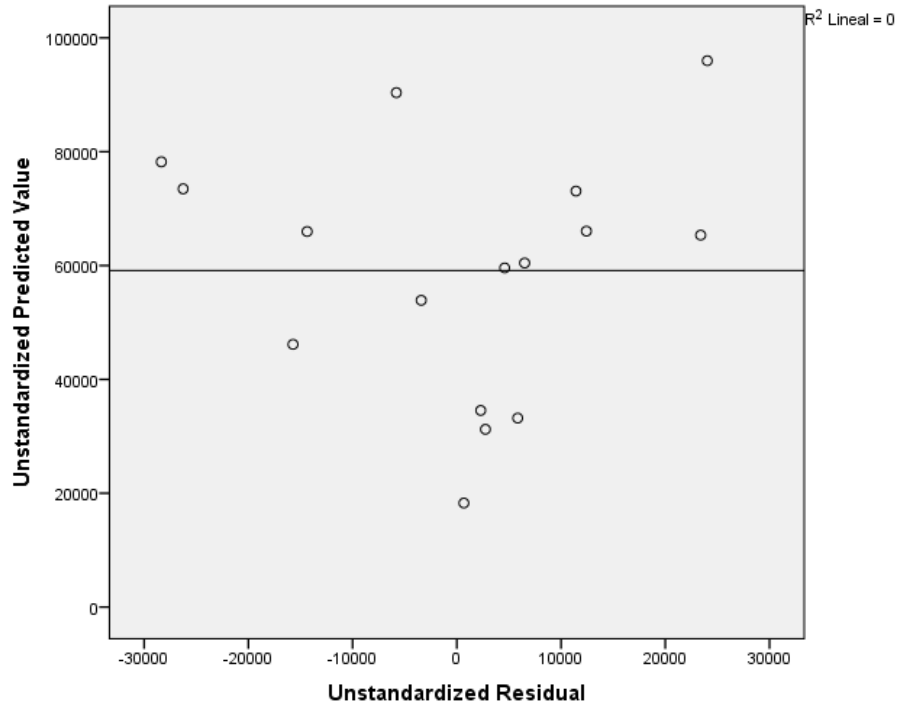


Figura 298. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E2

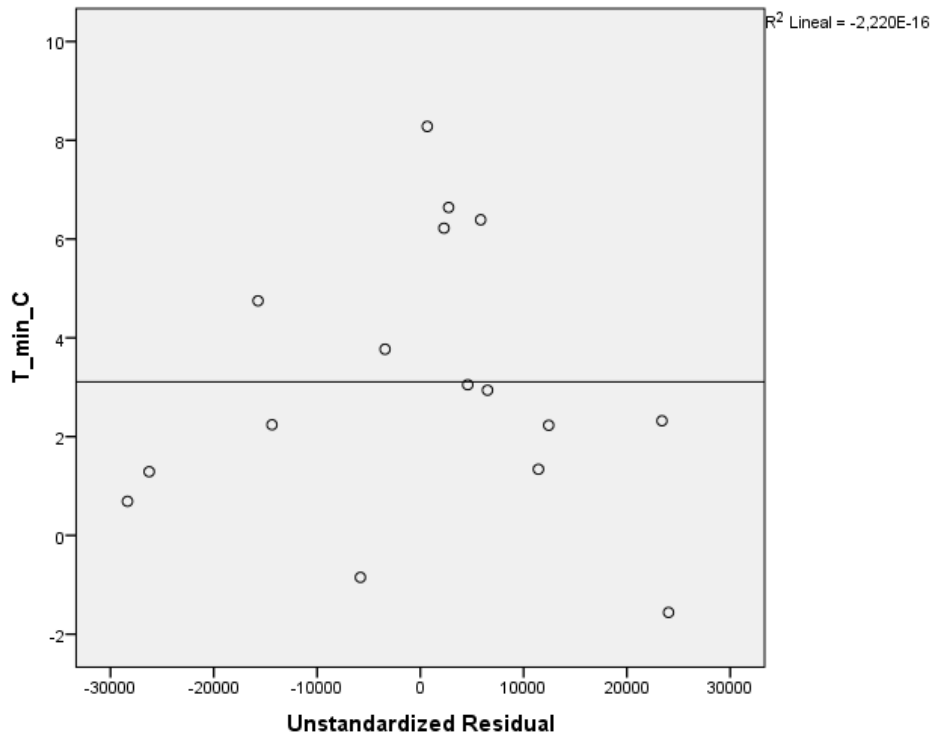


Figura 299. Relación entre T_min y los residuos en el Edificio E2

AV.2.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio E2.

$$\text{kWh}_{E2_Pronosticado} = 83.663,793 - 7.896,58 \times T_{\min}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 430, donde “kWh_E2_Real”, representa el consumo real redistribuido, “kWh_E2_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 430. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E2.

	T_min	kWh_E2_Real	kWh_E2_Pronosticado
oct-15	7,50	7.380	24.439
nov-15	4,16	49.410	50.843
dic-15	1,20	46.960	74.165
ene-16	2,63	32.190	62.931
feb-16	1,30	144.460	73.415
mar-16	0,20	59.975	82.112
abr-16	3,83	43.230	53.417
may-16	6,63	10.969	31.322
oct-16	7,14	15.025	27.295
nov-16	2,23	68.720	66.070
dic-16	0,57	65.329	79.178
ene-17	-2,83	98.867	105.993
feb-17	2,19	71.759	66.376
mar-17	2,59	51.050	63.235
abr-17	3,83	18.717	53.433
may-17	9,02	3.965	12.419
oct-17	6,71	5.110	30.713
nov-17	-0,28	48.158	85.872
dic-17	-0,44	80.392	87.108
ene-18	0,66	79.450	78.485
feb-18	-1,96	99.180	99.104
mar-18	2,74	78.870	62.030
abr-18	5,73	33.930	38.430
may-18	7,82	9.060	21.892

AV.2.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales no se distribuyen según una Normal ($\text{sig} \leq 0,05$), aunque los pronosticados si ($\text{Sig} > 0,05$), como se observa en la Tabla 431

Tabla 431. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,276	8	,073	,812	8	,038
kWh_pronosticado	,167	8	,200	,934	8	,558

Al no cumplirse la hipótesis de la normalidad de los datos no se puede aplicar la “t” de Student para analizar si existen diferencias significativas en esta primera temporada.

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 432

Tabla 432. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,195	8	,200	,929	8	,508
kWh_pronosticado	,179	8	,200	,958	8	,791

En la Tabla 433, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E2, en un 20,5 %

Tabla 433. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E2

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	49179,0000		8	33303,07262	11774,41424
kWh_pronosticado	59249,8750	20,5%	8	29138,35913	10301,96567

La Tabla 434 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$)

Tabla 434. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E2

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-10070,875	12205,921	4315,445	-20275,280	133,530	-2,334	7	,052

En la Figura 300 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E2, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

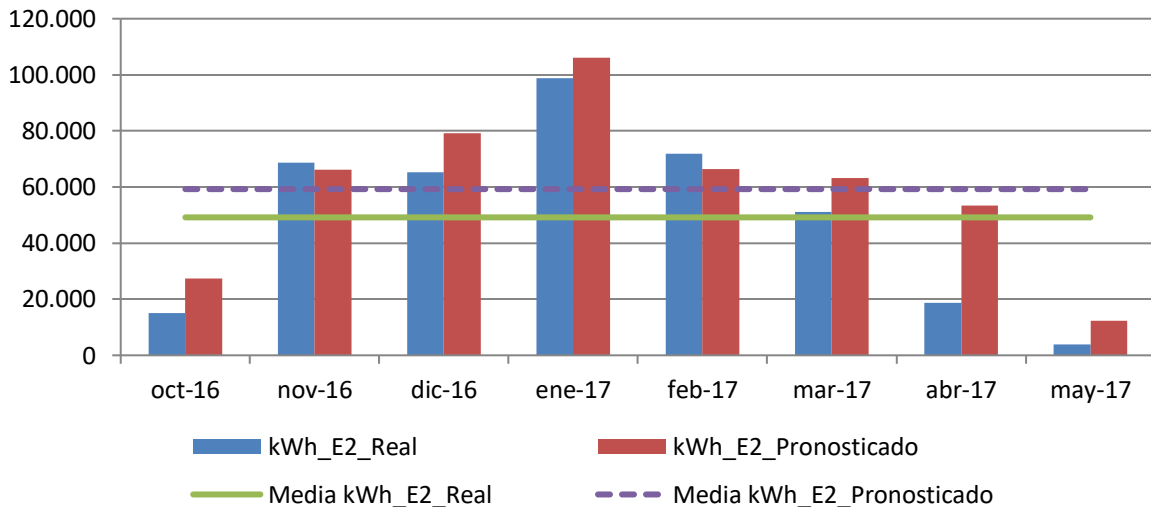


Figura 300. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E2

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 435

Tabla 435. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,255	8	,133	,899	8	,282
kWh_pronosticado	,202	8	,200	,910	8	,353

En la Tabla 436, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E2, en un 16,0 %

Tabla 436. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	54268,7500		8	35557,15965	12571,35435
kWh_pronosticado	62954,2500	16,0%	8	29239,24754	10337,63511

La Tabla 437 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05)

Tabla 437. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E2

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-8685,500	16856,087	5959,526	-22777,541	5406,541	-1,457	7	,188

En la Figura 301, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E2, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

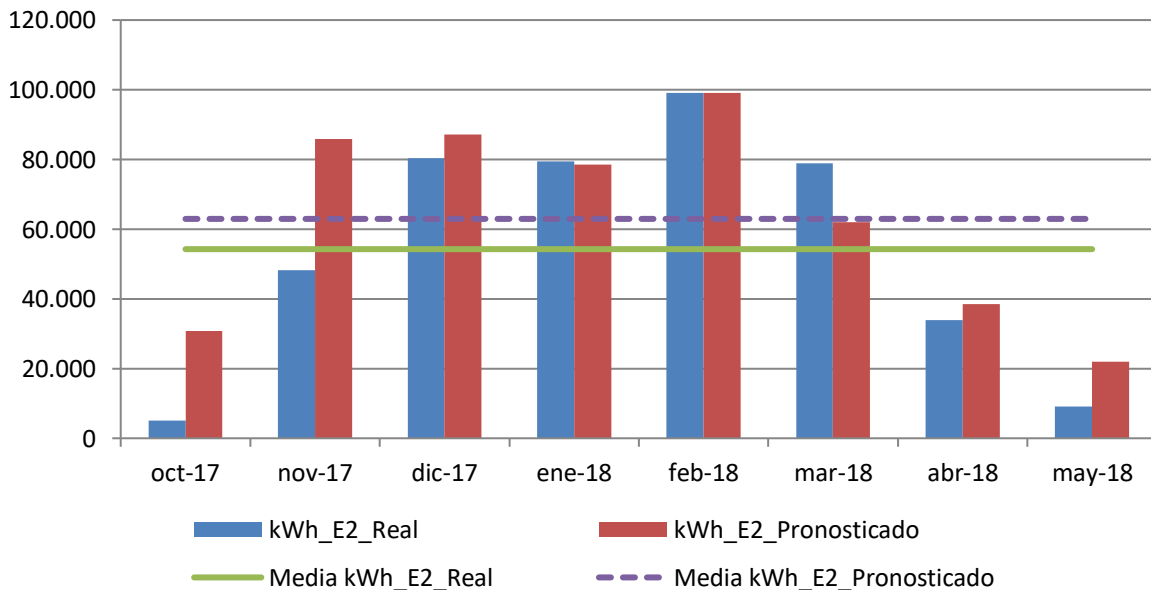


Figura 301. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E2

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 438

Tabla 438. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,107	24	,200	,942	24	,181
kWh_pronosticado	,121	24	,200	,966	24	,581

En la Tabla 439 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E2, en un 17,0 %

Tabla 439. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	50923,1667		24	35800,93178	7307,83460
kWh_pronosticado	59594,8750	17,0%	24	25614,67472	5228,57358

La Tabla 440 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05)

Tabla 440. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-8671,708	21544,238	4397,699	-17769,042	425,625	-1,972	23	,061

AV.2.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gasóleo se producen 0,311 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 441, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gasóleo originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 441. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio E2.

	kWh_ E2 Gasóleo	kWh_ E2 Biomasa	kWh_ E2 Real Total	kWh_ E2 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gasóleo	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gasóleo	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	7.380	7.380	7.380	0	177	177	2.295	2.118	2.118
nov-2015	0	49.410	49.410	49.410	0	1.186	1.186	15.367	14.181	16.299
dic-2015	0	46.960	46.960	46.960	0	1.127	1.127	14.605	13.478	29.776
ene-2016	0	32.190	32.190	32.190	0	773	773	10.011	9.239	39.015
feb-2016	65.280	79.180	144.460	144.460	20.302	1.900	22.202	44.927	22.725	61.739
mar-2016	4.645	55.330	59.975	59.975	1.445	1.328	2.772	18.652	15.880	77.619
abr-2016	1.880	41.350	43.230	43.230	585	992	1.577	13.444	11.867	89.487
may-2016	59	10.910	10.969	10.969	18	262	280	3.411	3.131	92.618
oct-2016	4.695	10.330	15.025	15.025	1.460	248	1.708	4.673	2.965	95.582
nov-2016	3.770	64.950	68.720	68.720	1.173	1.559	2.731	21.372	18.641	114.223
dic-2016	1.079	64.250	65.329	65.329	336	1.542	1.878	20.317	18.440	132.663
ene-2017	3.207	95.660	98.867	98.867	997	2.296	3.293	30.748	27.454	160.117
feb-2017	2.529	69.230	71.759	71.759	786	1.662	2.448	22.317	19.869	179.986
mar-2017	0	51.050	51.050	51.050	0	1.225	1.225	15.877	14.651	194.638
abr-2017	77	18.640	18.717	18.717	24	447	471	5.821	5.350	199.987
may-2017	355	3.610	3.965	3.965	110	87	197	1.233	1.036	201.023
oct-2017	0	5.110	5.110	5.110	0	123	123	1.589	1.467	202.490
nov-2017	0	48.158	48.158	48.158	0	1.156	1.156	14.977	13.821	216.311
dic-2017	0	80.392	80.392	80.392	0	1.929	1.929	25.002	23.073	239.384
ene-2018	0	79.450	79.450	79.450	0	1.907	1.907	24.709	22.802	262.186
feb-2018	0	99.180	99.180	99.180	0	2.380	2.380	30.845	28.465	290.651
mar-2018	0	78.870	78.870	78.870	0	1.893	1.893	24.529	22.636	313.286
abr-2018	0	33.930	33.930	33.930	0	814	814	10.552	9.738	323.024
may-2018	0	9.060	9.060	9.060	0	217	217	2.818	2.600	325.624

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 326 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio E2.

AV.2.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 442 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 443, muestran el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 442. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,0560
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,0497			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,0428			

Tabla 443. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E1

	kWh_E2Gasóleo	kWh_E2_Biomasa	kWh_E2 Real	kWh_E2 Pronosticado	€ Real Gasóleo	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gasóleo	€ Ahorro	€ Acumulado	
oct-2015	0	7.380	7.380	7.380	0	316	316	382	66	66	
nov-2015	0	49.410	49.410	49.410	0	2.115	2.115	2.554	440	505	
dic-2015	0	46.960	46.960	46.960	0	2.010	2.010	2.428	418	923	
ene-2016	0	32.190	32.190	32.190	0	1.378	1.378	1.407	29	952	
feb-2016	65.280	79.180	144.460	144.460	2.853	3.389	6.242	6.313	71	1.024	
mar-2016	4.645	55.330	59.975	59.975	203	2.368	2.571	2.621	50	1.073	
abr-2016	1.880	41.350	43.230	43.230	82	1.770	1.852	1.889	37	1.111	
may-2016	59	10.910	10.969	10.969	3	467	470	479	10	1.120	
oct-2016	4.695	10.330	15.025	15.025	205	442	647	657	9	1.130	
nov-2016	3.770	64.950	68.720	68.720	165	2.780	2.945	3.003	58	1.188	
dic-2016	1.079	64.250	65.329	65.329	47	2.750	2.797	2.855	58	1.246	
ene-2017	3.207	95.660	98.867	98.867	160	4.094	4.254	4.933	679	1.925	
feb-2017	2.529	69.230	71.759	71.759	126	2.963	3.089	3.581	492	2.417	
mar-2017	0	51.050	51.050	51.050	0	2.185	2.185	2.547	362	2.779	
abr-2017	77	18.640	18.717	18.717	4	798	802	934	132	2.912	
may-2017	355	3.610	3.965	3.965	18	155	172	198	26	2.937	
oct-2017	0	5.110	5.110	5.110	0	219	219	255	36	2.973	
nov-2017	0	48.158	48.158	48.158	0	2.061	2.061	2.403	342	3.315	
dic-2017	0	80.392	80.392	80.392	0	3.441	3.441	4.012	571	3.886	
ene-2018	0	79.450	79.450	79.450	0	3.400	3.400	4.449	1.049	4.935	
feb-2018	0	99.180	99.180	99.180	0	4.245	4.245	5.554	1.309	6.244	
mar-2018	0	78.870	78.870	78.870	0	3.376	3.376	4.417	1.041	7.285	
abr-2018	0	33.930	33.930	33.930	0	1.452	1.452	1.900	448	7.733	
may-2018	0	9.060	9.060	9.060	0	388	388	507	120	7.853	
€ Total							52.425	60.278			
Ahorro (%)										15,0%	

AV.3. Edificio E3. Facultad de Filosofía y Letras.

AV.3.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 444

Tabla 444. Consumos térmicos del edificio E3

Consumos térmicos (kWh). E3	
oct-12	17.828
nov-12	158.718
dic-12	168.403
ene-13	195.511
feb-13	241.484
mar-13	169.961
abr-13	122.600
may-13	66.794
oct-13	8.427
nov-13	111.525
dic-13	235.091
ene-14	192.743
feb-14	242.403
mar-14	160.164
abr-14	100.428
may-14	11.239
Promedio	137.707
Total (oct-12-may-13)	1.141.299
Total (oct-13-may-14)	1.062.020
Total (oct-12-may-13)	2.203.319

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos.

Utilizando el programa SPSS V.20, se obtiene el modelo de regresión mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 445 para el edificio E3, el método ofrece dos modelos de regresión, uno con una sola variable (Temperatura mínima) y otro con dos variables (Temperatura mínima y velocidad del viento diurna).

El primer modelo (modelo de regresión lineal simple) fue construido con un solo paso, incluyendo la Temperatura mínima por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000) que indica la probabilidad de cometer un error al rechazar que la pendiente de la variable “Temperatura mínima” es igual a cero, por lo que se acepta que esa variable forma parte del modelo con una pendiente (B= -26.412,48).

El segundo modelo (modelo de regresión lineal múltiple) se construyó en dos pasos, primero entró la Temperatura mínima y luego entró la siguiente variable que rechazase la Hipótesis nula, (las variables que rechazan la hipótesis nula son las que presentan una pendiente estadísticamente significativa y su probabilidad de cometer el error de rechazar Ho es $\leq 0,05$, para un nivel de confianza del 95 %), esta variable fue la “velocidad de viento diurna”, por presentar un valor de Sig = 0,015, el resto de las variables como se observa en la Tabla 446 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig $>0,05$, en el segundo paso.

Tabla 445. Modelos de regresión del Edificio E3

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B		
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	219817,236	12492,242	17,596	,000	193024,042	246610,430
	T_min	-26412,480	3044,655	-8,675	,000	-32942,615	-19882,346
2	(Constante)	130691,591	33319,626	3,922	,002	58708,915	202674,268
	T_min	-24484,085	2584,705	-9,473	,000	-30068,001	-18900,169
	V_viento_diurna_m/s	30147,142	10726,750	2,810	,015	6973,408	53320,876

En la Figura 302 se representa el modelo 1 de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

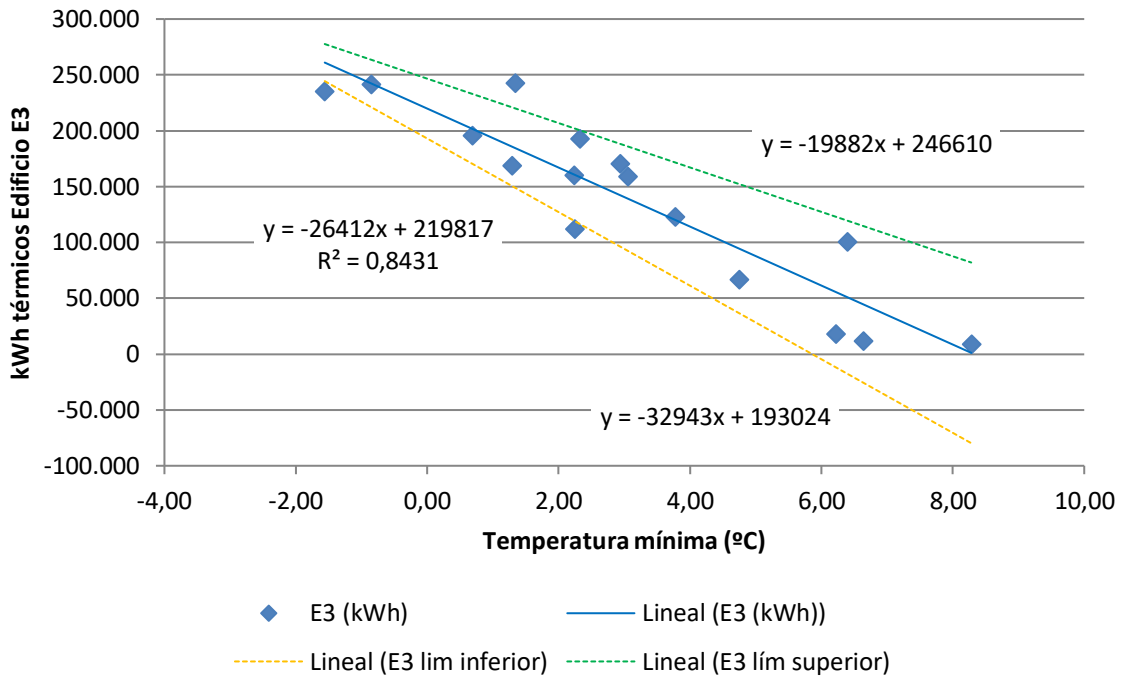


Figura 302. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E3

En la Figura 303 se representa el modelo 2 de regresión lineal múltiple para el edificio E3

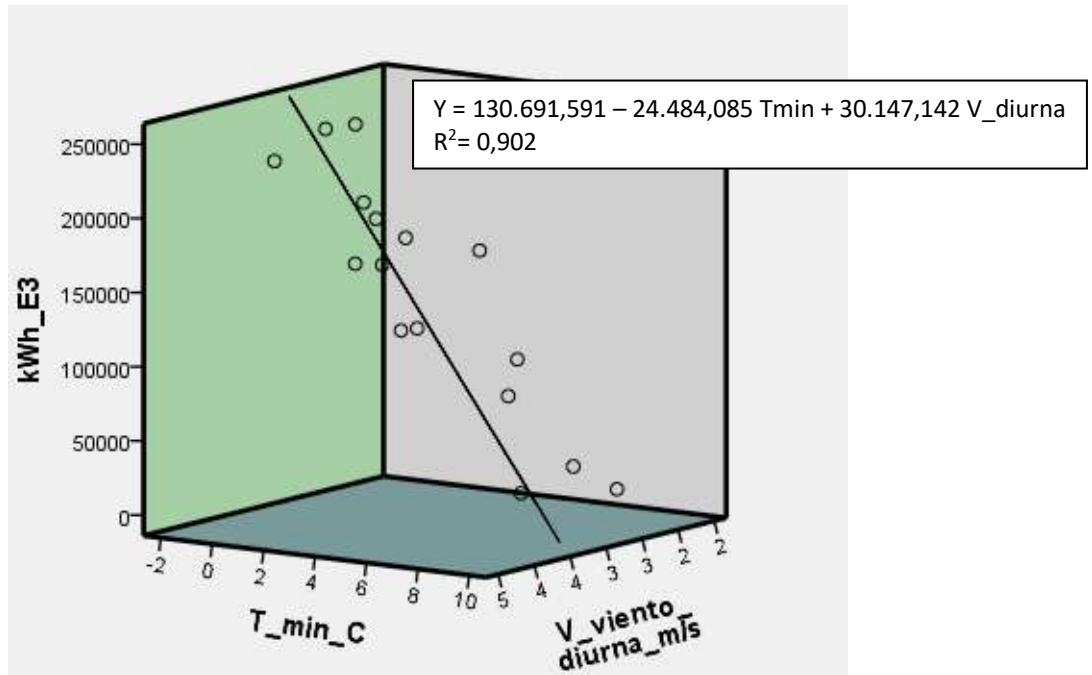


Figura 303. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio E3

Los valores de la columna t se obtienen dividiendo el valor de los coeficientes no estandarizados entre sus errores típicos, este estadístico tiende a ser mayor en valor absoluto cuando la hipótesis alternativa es verdadera, es decir cuando la variable posee una pendiente significativa en el modelo de regresión.

En las Tabla 445 y Tabla 446, el estadístico t y su nivel crítico (Sig), permiten contrastar la hipótesis nula consistente en que el coeficiente de regresión vale cero en el modelo; a mayor valor de t, mayor peso en el modelo.

El valor “Sig” corresponde a los valores de probabilidad de los valores de t, es la probabilidad de obtener el valor de t si la hipótesis nula fuera cierta, cuando son $\leq 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las pendientes son distintas de cero, luego si $\text{Sig} > 0,05$ se acepta la hipótesis nula de que la pendiente de la variable independiente en el modelo de regresión es igual a cero, no cumpliendo el criterio de entrada en el modelo.

La correlación parcial, que aparece en la Tabla 446 estudia la relación existente entre dos variables cuantitativas cuando se controla o elimina el efecto de terceras variables, en el modelo de regresión lineal, a mayor valor absoluto, mayor relación entre la variable dependiente y la independiente.

Tabla 446. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E3

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	,247	,808	,068
	GD20_30min	,271	,791	,075
	GD15_24h	,423	,679	,117
	GD20_24h	,349	,733	,096
	T_med	-1,081	,299	-,287
	T_media_diurna	-1,091	,295	-,290
	T_max	-1,181	,259	-,311
	HR_%	,660	,521	,180
	HR_med_diurna_%	,782	,448	,212
1	HR_max_%	,291	,776	,080
	HR_min_%	,643	,531	,176
	V_Viento_m/s	2,751	,017	,607
	V_viento_diurna_m/s	2,810	,015	,615
	V_viento_nocturna_m/s	2,567	,023	,580
	V_viento_max_m/s	2,595	,022	,584
	Recorrido_viento_km/día	2,757	,016	,607
	Precipitación_acumulada_mes_mm	1,225	,242	,322
	Horas insolación_h	-,419	,682	-,115
	Radiación_W/m2	-,558	,586	-,153

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	,871	,401	,244
	GD20_30min	,799	,440	,225
	GD15_24h	,956	,358	,266
	GD20_24h	,871	,401	,244
	T_med	-1,373	,195	-,369
	T_media_diurna	-1,349	,202	-,363
	T_max	-1,242	,238	-,338
	HR_%	1,735	,108	,448
2	HR_med_diurna_%	1,648	,125	,430
	HR_max_%	1,944	,076	,489
	HR_min_%	1,364	,197	,366
	V_Viento_m/s	-,163	,873	-,047
	V_viento_nocturna_m/s	-,170	,868	-,049
	V_viento_max_m/s	-,712	,490	-,201
	Recorrido_viento_km/día	-,127	,901	-,037
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,641	,534	,182
	Horas insolación_h	-1,478	,165	-,392
	Radiación_W/m2	-1,507	,158	-,399

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio E3, se resumen en la Tabla 447

Tabla 447. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio E3

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,918	,843	,832	32611,3022
2	-,950	,902	,887	26691,4676

Se observa como el modelo 1 de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) inferior en valor absoluto al modelo 2 de regresión lineal múltiple, este coeficiente indica que las variables de los modelos están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce en ambos modelos es inversa, al aumentar el valor de las variables independientes disminuye el valor de la variable dependiente que es el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo 1 se podría explicar el 84,3% de los datos reales obtenidos y el modelo 2, el porcentaje de aciertos o de explicación asciende al 90,2%, ambos aceptando un error del 5%.

El coeficiente de determinación corregido (R^2 corregido) que tiene en cuenta el número de variables independientes incluidas en el modelo y el tamaño de la muestra, reduce el coeficiente de determinación al 83,2% en el modelo 1 y al 88,7 % en el modelo 2.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 32.611 kWh para el modelo 1 y de 26.691 kWh para el modelo 2, lo que representa un 23,7% del promedio de los consumos que fue de 137.707 kWh para el modelo 1 y del 19,4% para el modelo 2. Por tanto aunque el modelo 2 es más preciso, también es aceptado el modelo 1 para la representación de la línea base de los consumos térmicos del edificio E3.

AV.3.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 445, la pendiente (B), para el modelo 1, obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E3) y la independiente (Temperatura mínima). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura mínima.

Para el modelo 2, según la misma Tabla 445, las pendientes de las dos variables introducidas en el modelo obtuvieron unos valores de Sig = 0,000 para la Temperatura mínima y de 0,015 para la Velocidad del viento diurna, ambos $\leq 0,05$, lo que nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E3) y las independientes (Temperatura mínima y velocidad del viento diurna). Al ser el valor de la primera pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media y de la segunda pendiente positiva, indica relación directa entre el consumo y la velocidad del viento diurna.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de las variables independientes (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula que la distribución es Normal, luego si la probabilidad del estadístico del test es \leq al nivel de significación 0,05, la hipótesis nula es rechazada y sólo aceptaremos que las variables se distribuyen según una Normal cuando el valor de la significación sea mayor que 0,05 (valor de la significación $> 0,05$) en el Test de Shapiro Wilk.

La Tabla 448, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio E3), como las variables independientes: Temperatura mínima y velocidad de viento diurna poseen una Sig > 0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 448. Prueba de normalidad para el edificio E3

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E3	,167	16	,200	,921	16	,178
T_min	,133	16	,200	,968	16	,813
V_viento_diurna_m/s	,156	16	,200	,948	16	,453

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es:

- para el modelo 1 de 1,950 (Regresión lineal simple)
- para el modelo 2 de 2,622 (Regresión lineal múltiple)

En el modelo 1, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3, el valor dU = 1,371, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629], como el valor del estadístico 1,950 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

En el modelo 2, n = 16 y k = 2, según la Tabla 3, el valor dU = 1,539 y dL = 0,982, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,539, 2,461].

Los intervalos [0, 0,982] y [3,018, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [0,982, 1,539] y [2,461, 3,018] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 2,622 está dentro del último intervalo no concluyente, se comprueba la ausencia de autocorrelación, mediante el gráfico de residuos frente al tiempo.

La Figura 304, muestra que la relación entre los residuos y el tiempo, posee un coeficiente de determinación = $6,78 \times 10^{-8}$, prácticamente nulo, por lo que se acepta la ausencia de autocorrelación.

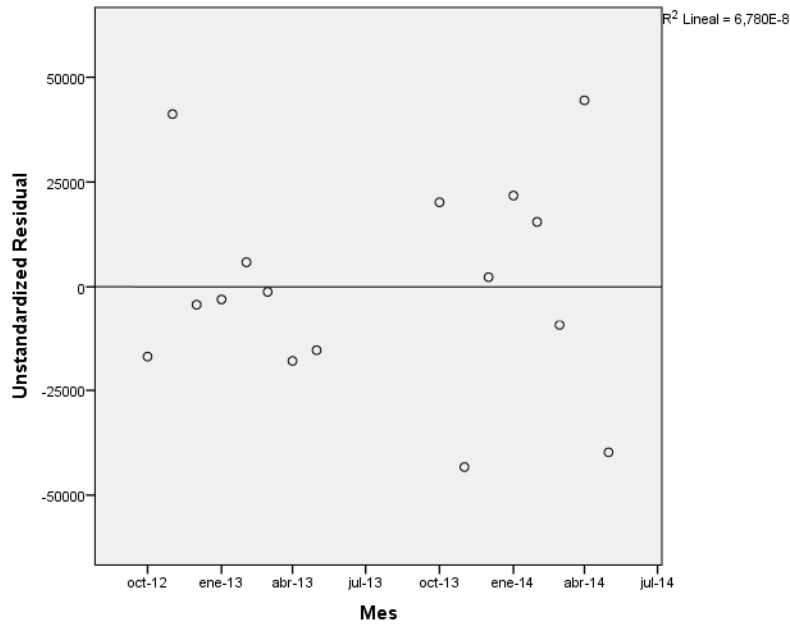


Figura 304. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio E3. Modelo 2

- **Homocedasticidad de la varianza.** Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la(s) variable(s) independiente(s) (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.

Esta condición indica que el error es una variable aleatoria que tomará un valor distinto cada vez que se ejecute el modelo y que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos.

La forma de comprobar la homocedasticidad es verificando si el coeficiente de determinación R^2 , que indica la proporción de la variable dependiente (Y o consumo del edificio) que puede ser explicada por la variación de las variables independientes (las variables climatológicas), en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variables independientes es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas. Para el modelo 1. Regresión lineal simple, las Figura 305 y Figura 306, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Temperatura mínima) y los residuos un coeficiente de determinación también de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

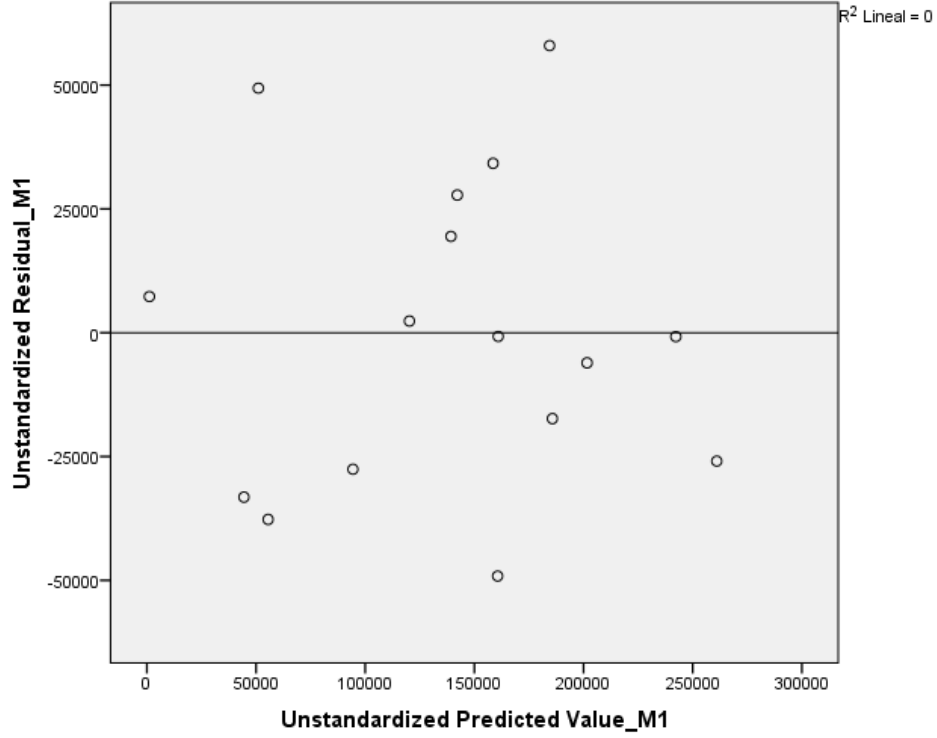


Figura 305. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E3. Modelo 1

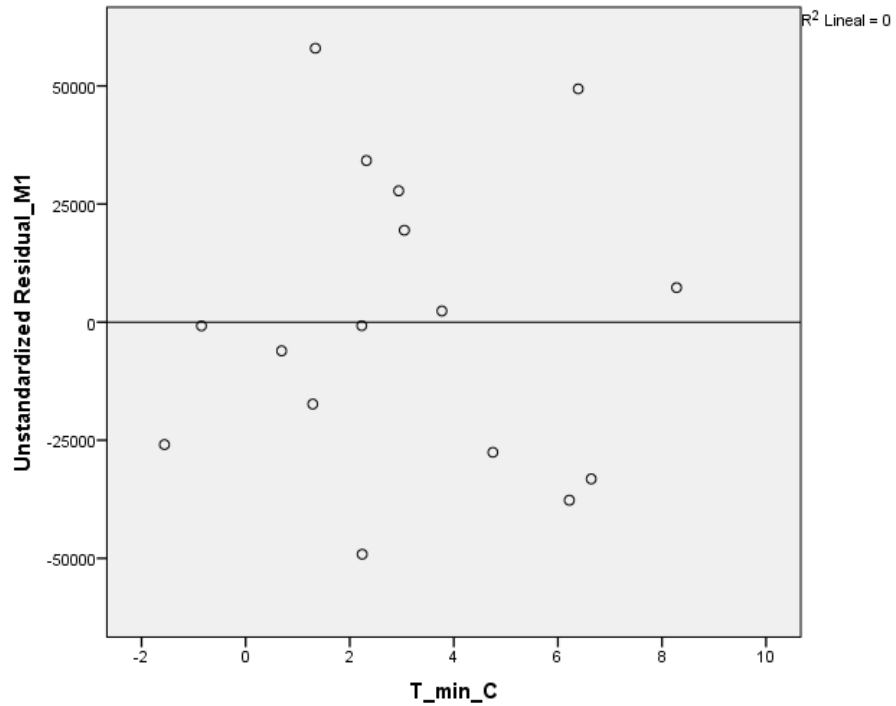


Figura 306. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E3. Modelo 1

Para el modelo 2. Regresión lineal múltiple, las Figura 307, Figura 308 y Figura 309, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0, entre la variable independiente (Temperatura mínima) y los residuos un coeficiente de determinación, también de 0 y entre la variable independiente (velocidad del viento diurna) y los residuos de $1,11 \times 10^{-16}$; prácticamente nulo, por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

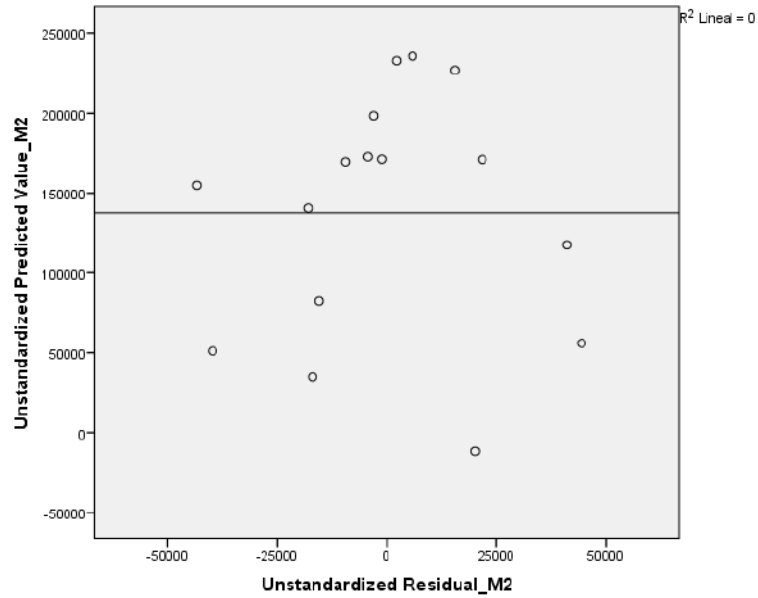


Figura 307. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E3. Modelo 2

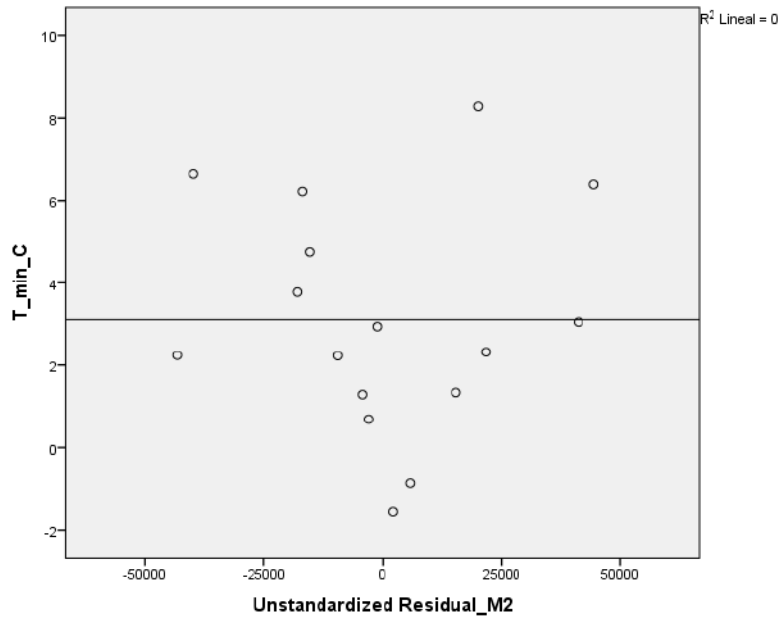


Figura 308. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E3. Modelo 2

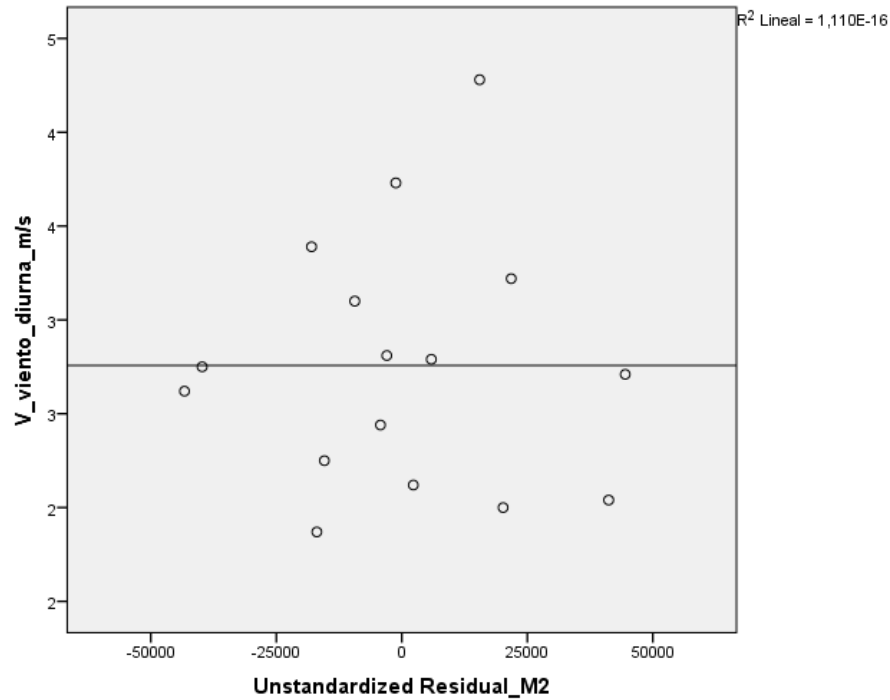


Figura 309. Relación entre la velocidad del viento nocturna y los residuos. Edificio E3. Modelo 2

- Cuando la regresión es lineal múltiple, se comprueba la falta de multicolinealidad o No-Colinealidad entre las variables independientes, es decir que las variables que forman parte del modelo no están correlacionadas entre ellas.

El problema de la multicolinealidad es moderado cuando el índice de condición toma un valor entre 20 y 30 y es grave cuando el índice de condición toma un valor superior a 30. El número de condición mide la sensibilidad de las estimaciones mínimo-cuadráticas ante pequeños cambios en los datos a mayor valor más correlación entre las variables.

La Tabla 449, muestra los índices de condición de las variables del modelo de regresión múltiple, ninguno de ellos supera el valor 20, por lo que no existen evidencias de correlación entre las variables independientes del modelo

Tabla 449. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio E3

Modelo	Dimensión	Índice de condición
2	1	1,000
	2	2,732
	3	10,866

En cuanto a los índices estadísticos de colinealidad como son los niveles Tolerancia y su inverso que son los Factores de Inflación de la Varianza (FIV). El nivel de tolerancia se obtiene restando a 1 el coeficiente de determinación (R^2). Como se observa en la Figura 310, el coeficiente de determinación entre las dos variables independientes es $R^2 = 0,070$, luego la Tolerancia es $T = 1 - R^2 = 1 - 0,070 = 0,930$ y $FIV = 1/T = 1,076$

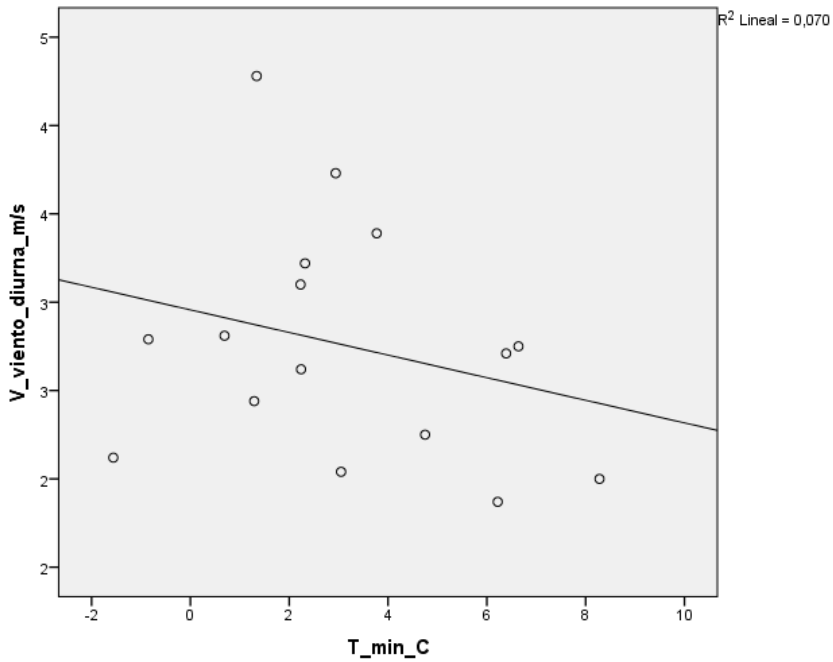


Figura 310. Gráfico de la temperatura mínima y la velocidad del viento diurna.

Si la Tolerancia toma un valor próximo a la unidad no existirá colinealidad (a mayor tolerancia menor colinealidad), por lo que se podrá deducir que no existe multicolinealidad entre las variables independientes. Pueden existir problemas de colinealidad si algún FIV es superior a 10, que corresponde con un R^2 de 0,9 y una Tolerancia menor a 0,1

La Tabla 450, muestra los estadísticos de colinealidad y se observa como la Tolerancia toma valores de 0,930, próxima a 1 y los valores de FIV permanecen por debajo de 10, por lo que no existen problemas de colinealidad entre la temperatura mínima y la velocidad del viento diurna.

Tabla 450. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio E3

Modelo		Tolerancia	FIV
1	T_min	1,000	1,000
2	T_min	,930	1,076
	V_viento_diurna_m/s	,930	1,076

AV.3.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se aceptan los modelos de línea base encontrados para modelizar el consumo del Edificio E3.

Modelo 1: $kWh_{E3} = 219.817,236 - 26.412,48 \times T_{min}$

Modelo 2: $kWh_{E3} = 130.691,591 - 24.484,085 \times T_{min} + 30.147,142 \times V_{viento_diurna}$

Con estos modelos se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 451, donde “kWh_E3”, representa el consumo real, “kWh_E3_M1”, el consumo pronosticado con el Modelo 1 y “kWh_E3_M2”, el consumo pronosticado con el Modelo 2.

Tabla 451. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E3.

	T_mínima	V_viento_diurna	kWh_E3	kWh_E3_M1	kWh_E3_M2	kWh_E3_M1 - kWh_E3_M2
oct-15	7,50	1,72	15.000	21.724	-998	22.722
nov-15	4,16	1,25	96.450	110.038	66.461	43.577
dic-15	1,20	0,97	72.750	188.046	130.589	57.456
ene-16	2,63	2,53	100.640	150.472	142.798	7.674
feb-16	1,30	3,30	195.869	185.536	198.492	-12.956
mar-16	0,20	2,66	108.608	214.628	205.956	8.672
abr-16	3,83	2,67	77.055	118.649	117.372	1.277
may-16	6,63	2,13	16.782	44.745	32.596	12.150
oct-16	7,14	1,08	22.329	31.276	-11.651	42.928
nov-16	2,23	1,61	138.878	160.970	124.577	36.393
dic-16	0,57	0,99	117.308	204.813	146.775	58.039
ene-17	-2,83	1,31	234.302	294.505	239.477	55.028
feb-17	2,19	2,79	176.446	161.993	161.156	836
mar-17	2,59	2,69	150.460	151.486	148.357	3.128
abr-17	3,83	2,53	53.310	118.701	113.140	5.561
may-17	9,02	2,07	13.640	-18.483	-27.689	9.206
oct-17	6,71	1,50	11.920	42.709	11.589	31.120
nov-17	-0,28	1,42	134.498	227.204	180.338	46.866
dic-17	-0,44	2,28	173.668	231.336	210.232	21.105
ene-18	0,66	2,23	198.228	202.496	181.775	20.720
feb-18	-1,96	2,42	257.218	271.463	251.394	20.069
mar-18	2,74	4,38	214.196	147.456	195.580	-48.124
abr-18	5,73	2,77	97.846	68.518	73.966	-5.449
may-18	7,82	2,00	22.440	13.203	-582	13.785

Los datos pronosticados que han resultado ser negativos serán anulados de los modelos, por representar valores imposibles. En la mayoría de los meses los consumos pronosticados con el modelo 1, son superiores a los pronosticados con el Modelo 2.

AV.3.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando el contraste de hipótesis para la comparación de medias para muestras relacionadas, es decir la prueba paramétrica “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas. En caso contrario no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyendo que las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas y no van más allá de lo que sería esperable por azar, todo ello con la aceptación de un riesgo de error del 5%, o lo que es lo mismo un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig $> 0,05$, como se observa en la Tabla 452 y Tabla 453

Tabla 452. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3. Modelo 1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,218	8	,200	,908	8	,338
kWh_pronost_M1	,167	8	,200	,934	8	,558

Tabla 453. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3. Modelo 2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real sin oct 2015	,260	7	,165	,913	7	,418
kWh_pronost_M2	,153	7	,200	,947	7	,703

En la Tabla 454, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E3; un 51,3 % superior con la estimación del Modelo 1 y un 33,8 % superior con la estimación del Modelo 2. En el Modelo 2, la observación de octubre de 2015, ha sido eliminada por haber sido pronosticado un valor negativo.

Tabla 454. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	kWh_real	85394,2500		8	57309,46383	20261,95525
	kWh_pronost_M1	129229,7500	51,3%	8	69229,71507	24476,40049
Par 2	kWh_real	95450,5714		7	53739,13049	20311,48213
	kWh_pronost_M2	127752,0000	33,8 %	7	63604,82073	24040,36255

La Tabla 455 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 ($\text{sig} \leq 0,5$), pero no lo son con el Modelo 2 ($\text{sig} > 0,05$).

Tabla 455. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-43835,500	45501,703	16087,281	-81875,876	-5795,124	-2,725	7	,030
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-32301,429	40982,450	15489,910	-70203,873	5601,016	-2,085	6	,082

En la Figura 311, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio E3, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada son estadísticamente significativas con el Modelo 1 y no lo son con el Modelo 2, para un nivel de confianza del 95 %.

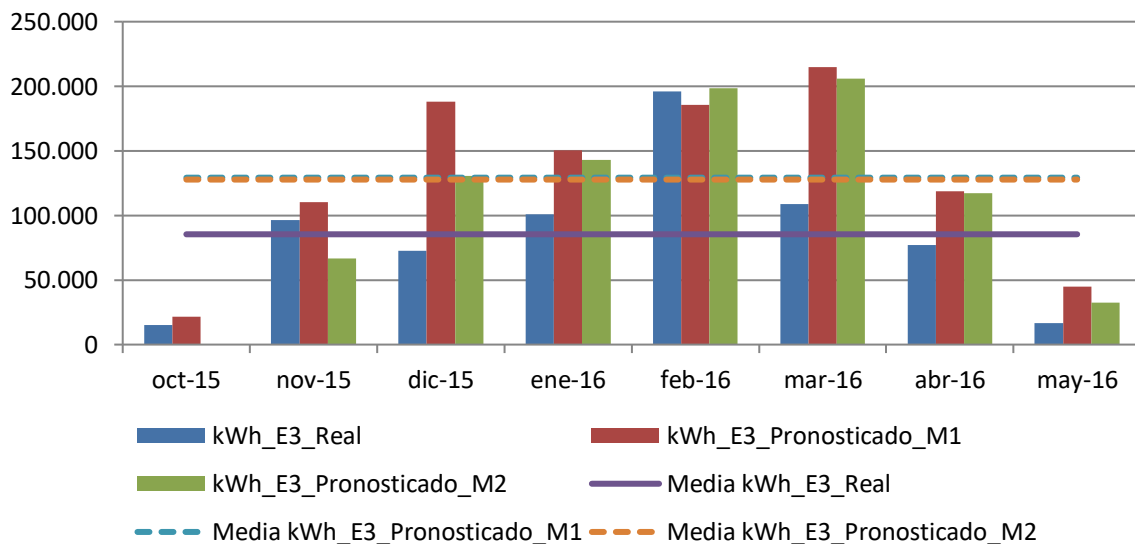


Figura 311. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 456. El valor negativo del pronóstico de mayo de 2017, obtenido con el Modelo 2, se ha anulado de la prueba.

Tabla 456. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E3

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real sin mayo 2017	,158	7	,200	,973	7	,922
kWh_pronost_M1	,207	7	,200	,955	7	,772
kWh_real (sin octubre 2016 ni mayo 2017)	,156	6	,200	,986	6	,978
kWh_pronost_M2	,284	6	,143	,843	6	,138

En la Tabla 457, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E3, un 25,8 % superior con la estimación del Modelo 1 y un 7,2 % superior con la estimación del Modelo 2

Tabla 457. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E3

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 kWh_real	127576,1429		7	72027,69169	27223,90853
kWh_pronost_M1	160534,8571	25,8%	7	80052,76823	30257,10236
Par 2 kWh_real	145117,3333		6	60340,38277	24633,85811
kWh_pronost_M2	155580,3333	7,2%	6	44635,94459	18222,54807

La Tabla 458, muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1, ni con el Modelo 2 (sig > 0,05)

Tabla 458. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E3

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-32958,714	38147,998	14418,588	-68239,728	2322,299	-2,286	6	,062
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-10463,000	29191,070	11917,204	-41097,149	20171,149	-,878	5	,420

En la Figura 312, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E3, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada no son estadísticamente significativas las diferencias encontradas entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1, ni por el modelo 2, para un nivel de confianza del 95 %.

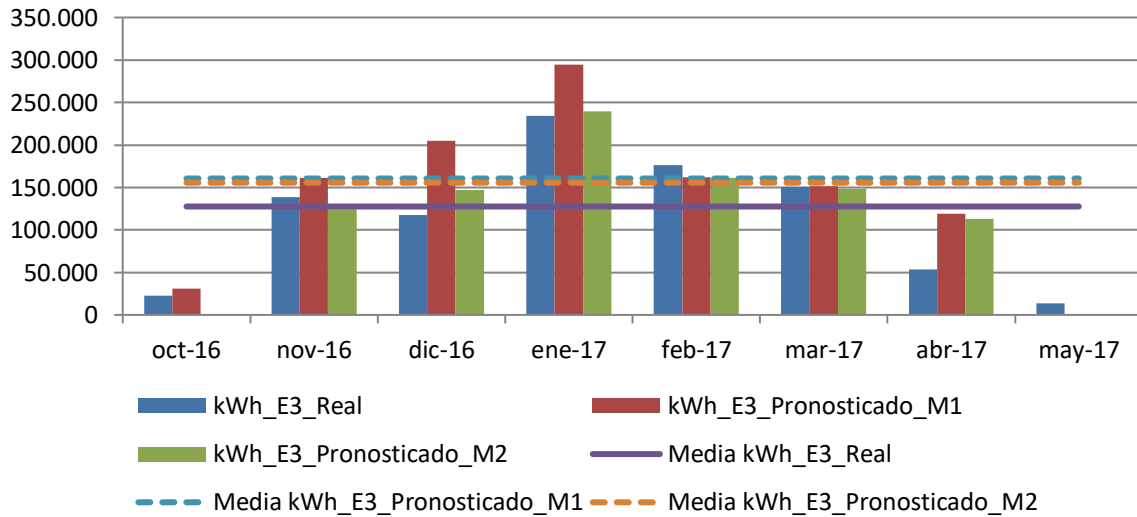


Figura 312. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E3

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 459

Tabla 459. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E3

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,154	8	,200	,939	8	,600
kWh_pronost_M1	,202	8	,200	,910	8	,353
kWh_real sin mayo 2018	,160	7	,200	,963	7	,846
kWh_pronost_M2	,320	7	,029	,877	7	,213

En la Tabla 460 se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E3, un 8,5 % superior con la estimación del Modelo 1 y un 1,6 % superior con la estimación del Modelo 2

Tabla 460. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E3

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	kWh_real	138751,7500		8	89273,85383	31563,07371
	kWh_pronost_M1	150548,1250	8,5%	8	97799,54391	34577,36035
Par 2	kWh_real	155367,7143		7	81983,42492	30986,82200
	kWh_pronost_M2	157839,1429	1,6%	7	84088,07613	31782,30538

La Tabla 461 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1, ni con el Modelo 2 (sig > 0,05).

Tabla 461. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E3

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-11796,375	49821,889	17614,698	-53448,517	29855,767	-,670	7	,525
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-2471,429	27739,910	10484,700	-28126,566	23183,709	-,236	6	,821

En la Figura 313 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E3, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada no son estadísticamente significativas las diferencias encontradas entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1, ni por el modelo 2, para un nivel de confianza del 95 %.

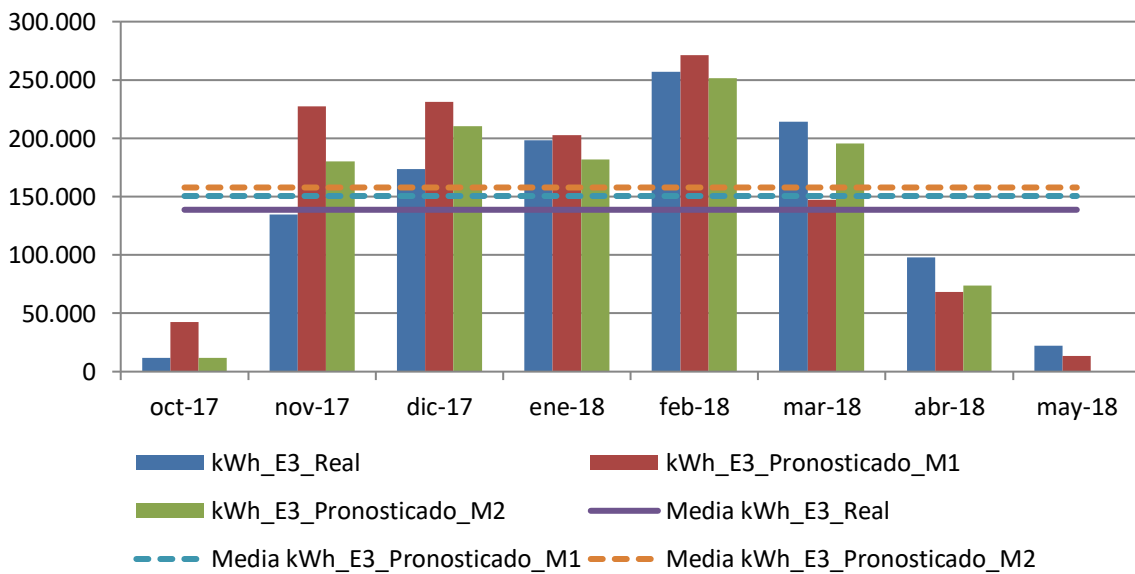


Figura 313. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E3

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, los valores reales como los pronosticados con el Modelo M1 y con el Modelo 2 se distribuyen según una Normal puesto que los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 462

Tabla 462. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real (sin mayo 2017)	,114	23	,200	,952	23	,319
kWh_pronost_M1	,115	23	,200	,960	23	,463
kWh_real (sin octubre 2015, octubre 2016, mayo 2017, mayo 2018)	,081	20	,200	,979	20	,914
kWh_pronost_M2	,103	20	,200	,969	20	,734

En la Tabla 463, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E3, un 29,9 % superior con la estimación del Modelo 1 y un 11,7 % superior con la estimación del Modelo 2

Tabla 463. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 kWh_real	116791,3478		23	74609,82702	15557,22436
kWh_pronost_M1	146172,4783	29,9%	23	80579,37024	16801,96017
Par 2 kWh_real	131321,6000		20	68846,29076	15394,49861
kWh_pronost_M2	146631,0000	11,7%	20	65097,06174	14556,14552

La Tabla 464 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1 (sig ≤ 0,05); pero no con el Modelo 2 (sig > 0,05), para un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 464. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-29381,130	45143,615	9413,094	-48902,693	-9859,568	-3,121	22	,005
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-15309,400	34236,560	7655,528	-31332,603	713,803	-2,000	19	,060

AV.3.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 465, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo 2 (por ser el de mayor coeficiente de correlación), las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 465. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E3.

	kWh_E3 Gas Natural	kWh_E3 Biomasa	kWh_E3 Real Total	kWh_E3_ M2 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	15.000	15.000	15.000	0	360	360	3.780	3.420	3.420
nov-2015	0	96.450	96.450	96.450	0	2.315	2.315	24.305	21.991	25.411
dic-2015	0	72.750	72.750	72.750	0	1.746	1.746	18.333	16.587	41.998
ene-2016	0	100.640	100.640	100.640	0	2.415	2.415	25.361	22.946	64.944
feb-2016	65.139	130.730	195.869	195.869	16.415	3.138	19.553	49.359	29.806	94.750
mar-2016	2.078	106.530	108.608	108.608	524	2.557	3.080	27.369	24.289	119.039
abr-2016	65	76.990	77.055	77.055	16	1.848	1.864	19.418	17.554	136.593
may-2016	32	16.750	16.782	16.782	8	402	410	4.229	3.819	140.412
oct-2016	6.169	16.160	22.329	22.329	1.554	388	1.942	5.627	3.684	144.096
nov-2016	2.328	136.550	138.878	138.878	587	3.277	3.864	34.997	31.133	175.229
dic-2016	888	116.420	117.308	117.308	224	2.794	3.018	29.562	26.544	201.773
ene-2017	2.712	231.590	234.302	234.302	683	5.558	6.242	59.044	52.803	254.576
feb-2017	1.016	175.430	176.446	176.446	256	4.210	4.466	44.464	39.998	294.574
mar-2017	240	150.220	150.460	150.460	60	3.605	3.666	37.916	34.250	328.824
abr-2017	1.320	51.990	53.310	53.310	333	1.248	1.580	13.434	11.854	340.678
may-2017	0	13.640	0	0	0	327	327	0	-327	340.350
oct-2017	80	11.840	11.920	11.920	20	284	304	3.004	2.700	343.050
nov-2017	2.408	132.090	134.498	134.498	607	3.170	3.777	33.894	30.117	373.166
dic-2017	408	173.260	173.668	173.668	103	4.158	4.261	43.764	39.503	412.670
ene-2018	848	197.380	198.228	198.228	214	4.737	4.951	49.953	45.003	457.672
feb-2018	1.208	256.010	257.218	257.218	304	6.144	6.449	64.819	58.370	516.042
mar-2018	1.656	212.540	214.196	214.196	417	5.101	5.518	53.977	48.459	564.502
abr-2018	96	97.750	97.846	97.846	24	2.346	2.370	24.657	22.287	586.789
may-2018	0	22.440	22.440	22.440	0	539	539	5.655	5.116	591.905

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 592 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio E3.

AV.3.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 466 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 467, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 466. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,00321			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02778			

Tabla 467. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E3

	kWh_E3_Gas Natural	kWh_E3_Biomasa	kWh_E3	kWh_E3_M2	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	15.000	15.000	15.000	0	417	417	560	143	143
nov-2015	0	96.450	96.450	96.450	0	2.679	2.679	3.598	918	1.061
dic-2015	0	72.750	72.750	72.750	0	2.021	2.021	2.714	693	1.754
ene-2016	0	100.640	100.640	100.640	0	2.796	2.796	3.080	284	2.037
feb-2016	65.139	130.730	195.869	195.869	1.993	3.632	5.625	5.994	369	2.406
mar-2016	2.078	106.530	108.608	108.608	64	2.959	3.023	3.323	300	2.706
abr-2016	65	76.990	77.055	77.055	2	2.139	2.141	2.358	217	2.924
may-2016	32	16.750	16.782	16.782	1	465	466	514	47	2.971
oct-2016	6.169	16.160	22.329	22.329	189	449	638	683	46	3.016
nov-2016	2.328	136.550	138.878	138.878	71	3.793	3.865	4.250	385	3.401
dic-2016	888	116.420	117.308	117.308	27	3.234	3.261	3.590	328	3.730
ene-2017	2.712	231.590	234.302	234.302	85	6.434	6.519	7.357	838	4.568
feb-2017	1.016	175.430	176.446	176.446	32	4.873	4.905	5.540	635	5.203
mar-2017	240	150.220	150.460	150.460	8	4.173	4.181	4.724	544	5.747
abr-2017	1.320	51.990	53.310	53.310	41	1.444	1.486	1.674	188	5.935
may-2017	0	13.640	0	0	0	379	379	0	-379	5.556
oct-2017	80	11.840	11.920	11.920	3	329	331	374	43	5.599
nov-2017	2.408	132.090	134.498	134.498	76	3.669	3.745	4.223	478	6.077
dic-2017	408	173.260	173.668	173.668	13	4.813	4.826	5.453	627	6.704
ene-2018	848	197.380	198.228	198.228	28	5.483	5.512	6.660	1.149	7.853
feb-2018	1.208	256.010	257.218	257.218	41	7.112	7.153	8.643	1.490	9.343
mar-2018	1.656	212.540	214.196	214.196	56	5.904	5.960	7.197	1.237	10.580
abr-2018	96	97.750	97.846	97.846	3	2.715	2.719	3.288	569	11.149
may-2018	0	22.440	22.440	22.440	0	623	623	754	131	11.280
€ Total							75.270	86.549		
Ahorro (%)										15,0%

AV.4. Edificio E4. Escuela de Ingenierías Industriales (Antigua Facultad de Ciencias).

AV.4.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 468

Tabla 468. Consumos térmicos del edificio E4

Consumos térmicos (kWh). E4	
oct-12	14.142,37
nov-12	111.738,28
dic-12	153.433,96
ene-13	181.743,51
feb-13	239.368,54
mar-13	118.256,15
abr-13	79.148,51
may-13	11.168,69
oct-13	25.730,50
nov-13	127.312,99
dic-13	148.501,58
ene-14	114.799,73
feb-14	109.571,54
mar-14	80.574,20
abr-14	30.084,06
may-14	14.875,40
Promedio	97.528
Total (oct-12-may-13)	909.000
Total (oct-13-may-14)	651.450
Total (oct-12-may-13)	1.560.450

Como se puede ver en la Tabla 469 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Temperatura media). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo la Temperatura media, por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 470 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 469. Modelos de regresión del Edificio E4

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	234879,945	18312,062	12,827	,000	195604,478	274155,411
T_med	-16850,392	2066,434	-8,154	,000	-21282,453	-12418,331

En la Figura 314 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

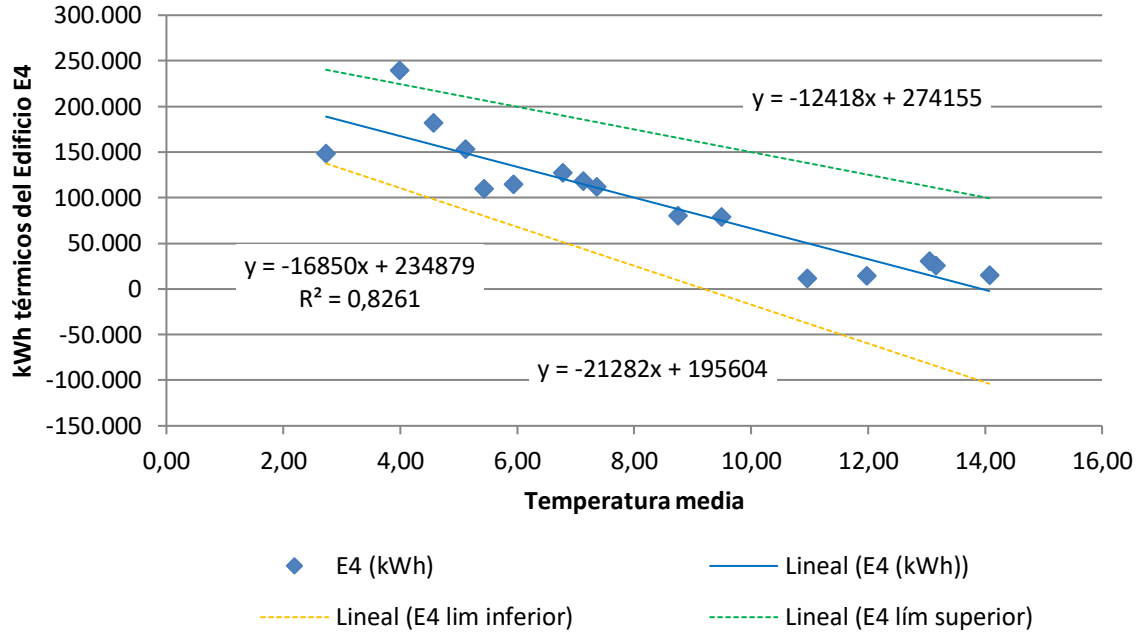


Figura 314. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E4

Tabla 470. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E4

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,725	,482	-,197
	GD20_30min	-1,239	,237	-,325
	GD15_24h	-1,014	,329	-,271
	GD20_24h	-1,420	,179	-,367
	T_media_diurna_C	,552	,590	,151
	T_max_C	,380	,710	,105
	T_min_C	-,381	,709	-,105
	HR_%	-,541	,597	-,148
	HR_med_diurna_%	-,547	,593	-,150
1	HR_max_%	-,425	,678	-,117
	HR_min_%	-,522	,611	-,143
	V_Viento_m/s	-,190	,852	-,053
	V_viento_diurna_m/s	-,059	,954	-,016
	V_viento_nocturna_m/s	-,395	,699	-,109
	V_viento_max_m/s	,126	,902	,035
	Recorrido_viento_km/día	-,205	,841	-,057
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,013	,990	,004
	Horas insolación_h	,467	,648	,128
	Radiación_W/m2	,023	,982	,007

La bondad del modelo de regresión obtenido para el edificio E4, se resumen en la Tabla 471

Tabla 471. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E4

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,909	,826	,814	28736,1742

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,909, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 82,6% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 28.736 kWh, lo que representa un 29,5% del promedio de los consumos que fue de 97.528 kWh.

AV.4.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 469, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E4) y la independiente (T_med). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 472, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15 poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 472. Prueba de normalidad para el edificio E4

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E4	,157	16	,200	,935	16	,295
T_med	,150	16	,200	,942	16	,376

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,405.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629].

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,405 está dentro del intervalo que marca la ausencia de correlación, se concluye que no existe autocorrelación en los residuos.

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 315 y Figura 316, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (T_med) y los residuos un coeficiente de determinación de $1,11 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

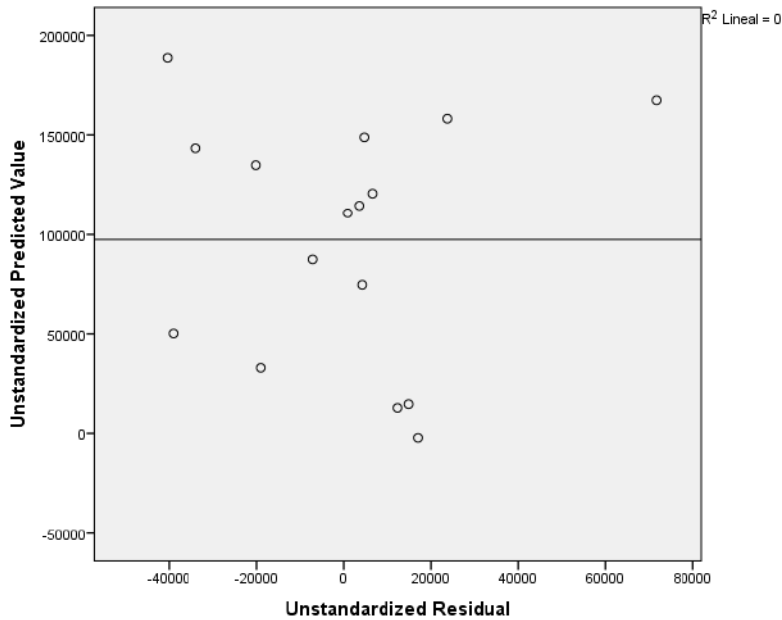


Figura 315. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E4

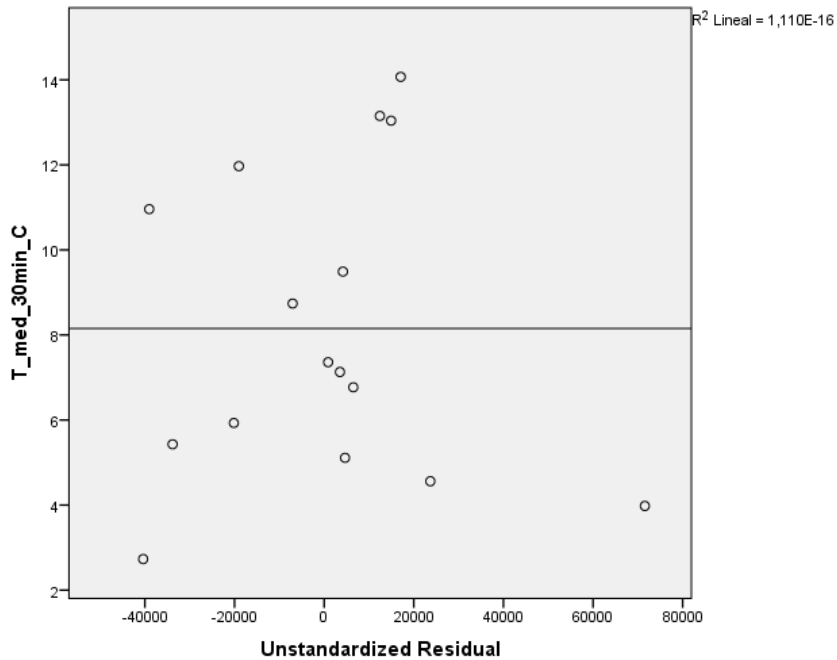


Figura 316. Relación entre GD20_24h y los residuos en el Edificio E4

AV.4.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio E4.

$$\text{kWh}_{E4_Pronosticado} = 234.879,945 - 16.850,392 \times T_{med}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 473, donde “KWh_E4_Real”, representa el consumo real redistribuido, “kWh_E4_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 473. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E4.

	T_med	kWh_E4_Real	kWh_E4_Pronosticado
oct-15	12,82	8.100	18.880
nov-15	8,30	73.400	94.982
dic-15	5,33	59.700	145.089
ene-16	6,23	42.100	129.842
feb-16	5,82	197.706	136.875
mar-16	6,14	96.973	131.370
abr-16	9,10	65.845	81.530
may-16	13,11	16.189	13.901
oct-16	13,48	13.250	7.731
nov-16	6,90	43.359	118.584
dic-16	4,12	50.061	165.424
ene-17	2,52	53.139	192.482
feb-17	6,96	49.191	117.607
mar-17	9,21	51.117	79.699
abr-17	12,58	17.237	22.953
may-17	16,69	3.184	-46.299
oct-17	14,71	4.400	-13.011
nov-17	6,09	0	132.255
dic-17	3,99	95.300	167.625
ene-18	4,42	48.500	160.390
feb-18	3,53	64.100	175.422
mar-18	6,80	55.500	120.254
abr-18	11,15	24.100	47.060
may-18	14,03	8.600	-1.493

Se eliminarán los meses cuyos valores pronosticados sean negativos, por ser valores imposibles.

AV.4.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal (Sig >0,05), como se observa en la Tabla 474

Tabla 474. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E4

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,227	8	,200	,865	8	,135
kWh_pronosticado	,252	8	,144	,839	8	,073

En la Tabla 475, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E4, en un 34,4 %

Tabla 475. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E4

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	70001,6250		8	59374,02377	20991,88742
kWh_pronosticado	94058,6250	34,4%	8	52569,43618	18586,10240

La Tabla 476 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05)

Tabla 476. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E4

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Diferencias relacionadas				
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-24057,000	47923,802	16943,623	-64122,301	16008,301	-1,420	7	,199

En la Figura 317 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2015 para el Edificio E4, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

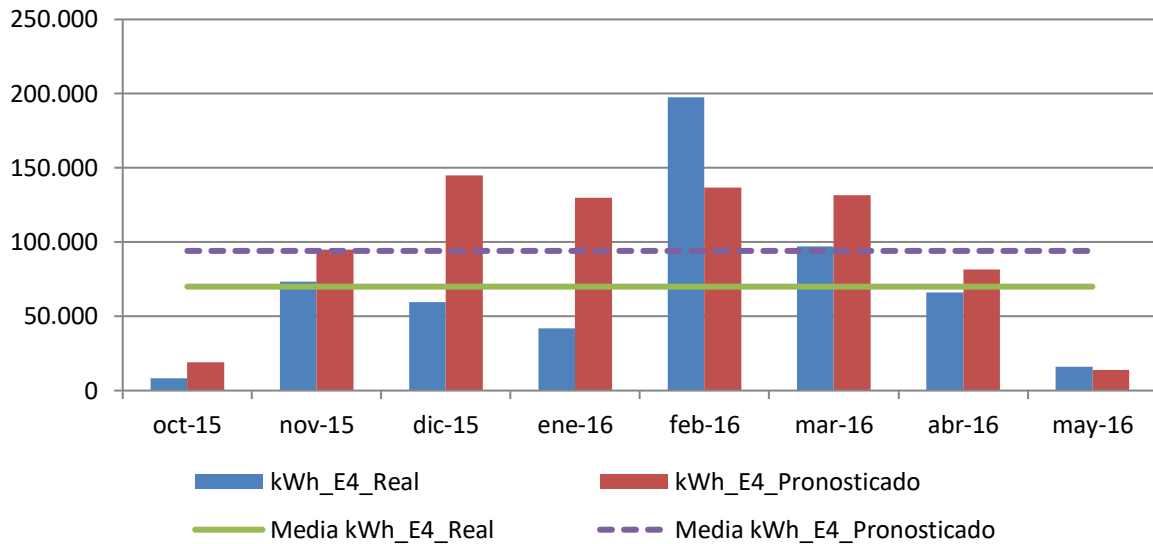


Figura 317. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E4

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales no se distribuyen según una Norma ($Sig \leq 0,05$), aunque los pronosticados si lo hacen ($Sig > 0,05$), como se observa en la Tabla 477

Tabla 477. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E4

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real (sin mayo 2017)	,301	7	,054	,754	7	,014
kWh_pronosticado	,169	7	,200	,946	7	,695

Al no cumplirse la hipótesis de normalidad, no se puede aplicar la prueba t- Student, para analizar si existen diferencias significativas entre las medias de las dos muestras relacionadas.

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $Sig > 0,05$, como se observa en la Tabla 478

Tabla 478. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E4

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real (sin octubre 2017, ni mayo 2018)	,174	6	,200	,985	6	,974
kWh_pronosticado	,221	6	,200	,856	6	,175

En la Tabla 479, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E4, en un 179,3 %

Tabla 479. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E4

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	47916,6667		6	32948,95547	13451,35474
kWh_pronosticado	133834,3333	179,3%	6	47525,25913	19402,10579

La Tabla 480 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 480. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E4

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Diferencias relacionadas				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-85917,667	40158,237	16394,531	-128061,152	-43774,182	-5,241	5	,003

En la Figura 318, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E4, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

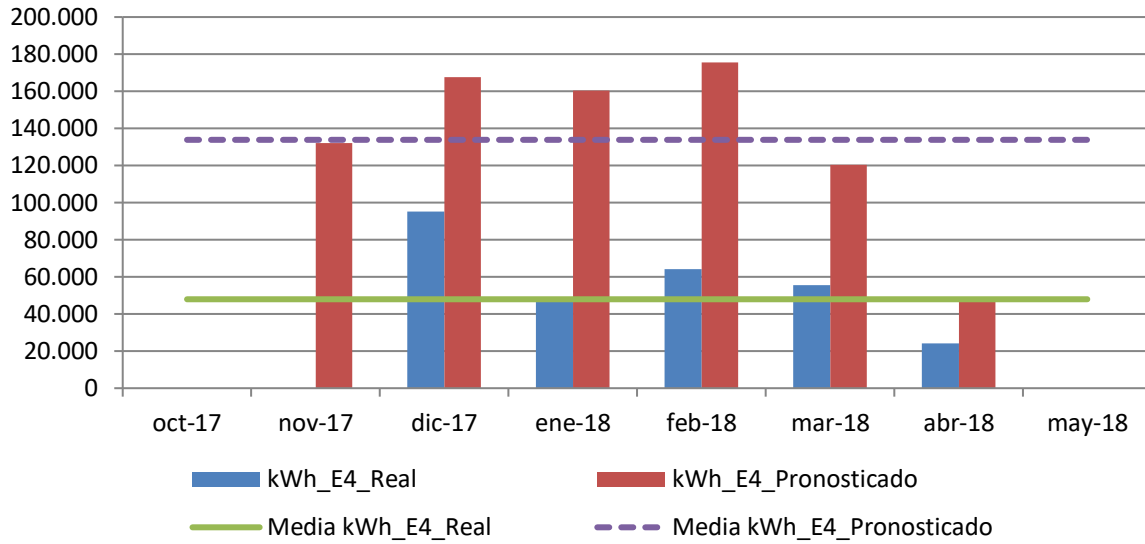


Figura 318. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E4

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que ni los valores reales, ni los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de $Sig \leq 0,05$, como se observa en la Tabla 481

Tabla 481. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E4

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real (sin mayo 2017, octubre 2017, mayo 2018)	,189	21	,047	,824	21	,002
kWh_pronosticado	,197	21	,033	,898	21	,032

Al no cumplirse la hipótesis de normalidad, no se puede aplicar la prueba t- Student, para analizar si existen diferencias significativas entre las medias de las dos muestras relacionadas.

AV.4.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gasóleo se producen 0,311 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 482, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y al no haberse podido justificar la existencia de diferencias significativas, se mantienen los mismos valores reales como predichos para esas temporadas de haber seguido utilizando las calderas de gasóleo originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 482. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E4.

	kWh_ E4 Gasóleo	kWh_ E4 Biomasa	kWh_ E4 Real Total	kWh_ E4 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gasóleo	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gasóleo	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	8.100	8100	8.100	0	194	194	2.519	2.325	2.325
nov-2015	0	73.400	73400	73.400	0	1.762	1.762	22.827	21.066	23.391
dic-2015	0	59.700	59700	59.700	0	1.433	1.433	18.567	17.134	40.524
ene-2016	0	42.100	42100	42.100	0	1.010	1.010	13.093	12.083	52.607
feb-2016	104.006	93.700	197706	197.706	32.346	2.249	34.595	61.486	26.892	79.499
mar-2016	14.373	82.600	96973	96.973	4.470	1.982	6.452	30.158	23.706	103.205
abr-2016	8.345	57.500	65845	65.845	2.595	1.380	3.975	20.478	16.503	119.708
may-2016	2.689	13.500	16189	16.189	836	324	1.160	5.035	3.875	123.582
oct-2016	5.050	8.200	13250	13.250	1.571	197	1.767	4.121	2.353	125.936
nov-2016	2.459	40.900	43359	43.359	765	982	1.747	13.485	11.738	137.674
dic-2016	13.261	36.800	50061	50.061	4.124	883	5.007	15.569	10.562	148.236
ene-2017	3.639	49.500	53139	53.139	1.132	1.188	2.320	16.526	14.207	162.442
feb-2017	5.991	43.200	49191	49.191	1.863	1.037	2.900	15.298	12.398	174.840
mar-2017	917	50.200	51117	51.117	285	1.205	1.490	15.898	14.407	189.248
abr-2017	2.837	14.400	17237	17.237	882	346	1.228	5.361	4.133	193.381
may-2017	3.184	0	0	0	990	0	990	0	-990	192.390
oct-2017	0	4.400	0	0	0	106	106	0	-106	192.285
nov-2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192.285
dic-2017	0	95.300	95300	95.300	0	2.287	2.287	29.638	27.351	219.636
ene-2018	0	48.500	48500	48.500	0	1.164	1.164	15.084	13.920	233.555
feb-2018	0	64.100	64100	64.100	0	1.538	1.538	19.935	18.397	251.952
mar-2018	0	55.500	55500	55.500	0	1.332	1.332	17.261	15.929	267.881
abr-2018	0	24.100	24100	24.100	0	578	578	7.495	6.917	274.797
may-2018	0	8.600	0	0	0	206	206	0	-206	274.591

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 275 Toneladas de CO₂, debido al cambio de combustible en el edificio E4.

AV.4.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 483 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 484, muestral el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 483. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,0560
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,048145			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,040876			

Tabla 484. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E4

	kWh_E4 Gasóleo	kWh_E4_ Biomasa	kWh_E4 Real	kWh_E4 Pronosticado	€ Real Gasóleo	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gasóleo	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	8.100	8100	8.100	0	331	331	419	88	88
nov-2015	0	73.400	73400	73.400	0	3.000	3.000	3.795	794	882
dic-2015	0	59.700	59700	59.700	0	2.440	2.440	3.086	646	1.528
ene-2016	0	42.100	42100	42.100	0	1.721	1.721	1.840	119	1.647
feb-2016	104.006	93.700	197706	197.706	4.545	3.830	8.375	8.640	265	1.912
mar-2016	14.373	82.600	96973	96.973	628	3.376	4.004	4.238	233	2.145
abr-2016	8.345	57.500	65845	65.845	365	2.350	2.715	2.877	162	2.307
may-2016	2.689	13.500	16189	16.189	118	552	669	707	38	2.346
oct-2016	5.050	8.200	13250	13.250	221	335	556	579	23	2.369
nov-2016	2.459	40.900	43359	43.359	107	1.672	1.779	1.895	116	2.484
dic-2016	13.261	36.800	50061	50.061	580	1.504	2.084	2.188	104	2.588
ene-2017	3.639	49.500	53139	53.139	182	2.023	2.205	2.652	447	3.035
feb-2017	5.991	43.200	49191	49.191	299	1.766	2.065	2.455	390	3.425
mar-2017	917	50.200	51117	51.117	46	2.052	2.098	2.551	453	3.878
abr-2017	2.837	14.400	17237	17.237	142	589	730	860	130	4.008
may-2017	3.184	0	0	0	159	0	159	0	-159	3.849
oct-2017	0	4.400	0	0	0	180	180	0	-180	3.669
nov-2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.669
dic-2017	0	95.300	95300	95.300	0	3.895	3.895	4.755	860	4.529
ene-2018	0	48.500	48500	48.500	0	1.982	1.982	2.716	734	5.262
feb-2018	0	64.100	64100	64.100	0	2.620	2.620	3.590	969	6.232
mar-2018	0	55.500	55500	55.500	0	2.269	2.269	3.108	839	7.071
abr-2018	0	24.100	24100	24.100	0	985	985	1.350	364	7.436
may-2018	0	8.600	0	0	0	352	352	0	-352	7.084
€ Total							47.215	54.299		
Ahorro (%)										15,0%

AV.5. Edificio E5. Edificio Alfonso VIII.

AV.5.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 485

Tabla 485. Consumos térmicos del edificio E5

Consumos térmicos (kWh). E5	
oct-12	117.869
nov-12	205.331
dic-12	303.000
ene-13	323.200
feb-13	296.940
mar-13	303.000
abr-13	195.940
may-13	101.000
oct-13	81.374
nov-13	221.626
dic-13	303.000
ene-14	298.152
feb-14	204.363
mar-14	101.667
abr-14	163.647
may-14	142.383
Promedio	210.156
Total (oct-12-may-13)	1.846.280
Total (oct-13-may-14)	1.516.212
Total (oct-12-may-13)	3.362.492

Como se puede ver en la Tabla 486 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 15, obtenidos con datos cada 30 minutos). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 15 cada 30 min, por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 487 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 486. Modelos de regresión del Edificio E5

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	29320,001	31223,503	,939	,364	-37647,752	96287,755
GD15_30min	816,043	131,151	6,222	,000	534,752	1097,335

En la Figura 319 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

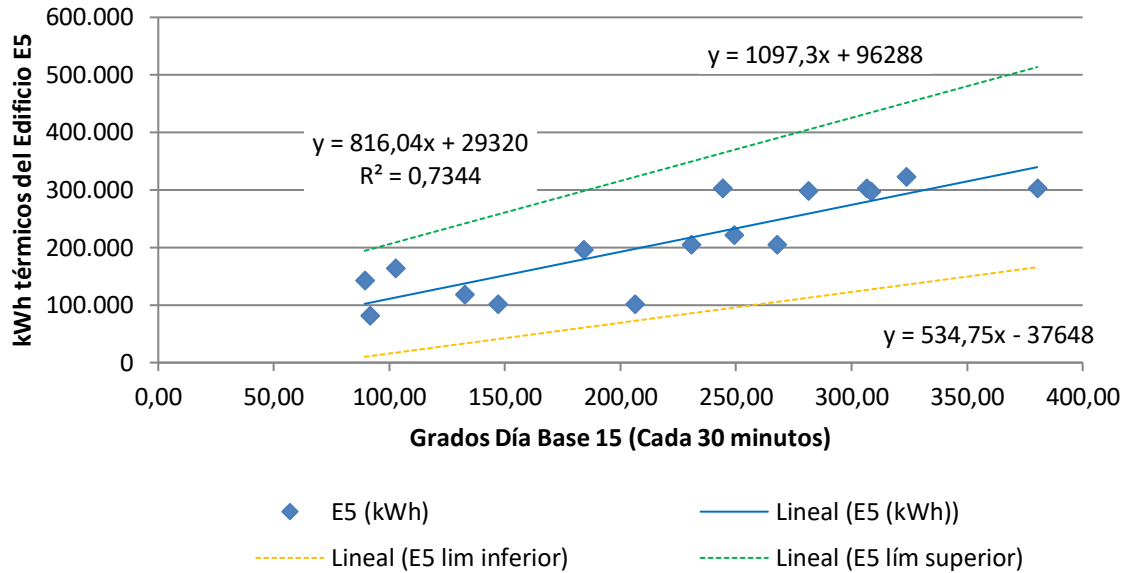


Figura 319. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E5

Tabla 487. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E5

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	-,051	,960	-,014
	GD15_24h	-,430	,674	-,118
	GD20_24h	-,554	,589	-,152
	T_med_C	,723	,483	,197
	T_media_diurna_C	-,111	,913	-,031
	T_max_C	-,629	,540	-,172
	T_min_C	1,413	,181	,365
	HR_%	,550	,592	,151
	HR_med_diurna_%	,664	,518	,181
1	HR_max_%	,362	,723	,100
	HR_min_%	,912	,378	,245
	V_Viento_m/s	,762	,460	,207
	V_viento_diurna_m/s	,736	,475	,200
	V_viento_nocturna_m/s	,806	,435	,218
	V_viento_max_m/s	,813	,431	,220
	Recorrido_viento_km/día	,758	,462	,206
	Precipitación_acumulada_mes_mm	1,366	,195	,354
	Horas insolación_h	,031	,976	,009
	Radiación_W/m2	-,121	,906	-,034

La bondad del modelo de regresión obtenido para el edificio E5, se resumen en la Tabla 488

Tabla 488. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E5

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,857	,734	,715	45648,4925

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,857, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 73,4% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 45.648 kWh, lo que representa un 21,7% del promedio de los consumos que fue de 210.156 kWh.

AV.5.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 486, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E5) y la independiente (GD15_30min). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 15.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula la que la distribución es Normal.

La Tabla 489, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15 poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 489. Prueba de normalidad para el edificio E5

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E5	,220	16	,038	,891	16	,058
GD15_30min	,109	16	,200	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,748.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629]

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,748 está dentro del intervalo de ausencia de correlación, se concluye que no existe autocorrelación en los residuos.

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 320 y Figura 321, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = $-2,22 \times 10^{-16}$ y entre la variable independiente (Grados día base 15) y los residuos un coeficiente de determinación de $1,11 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

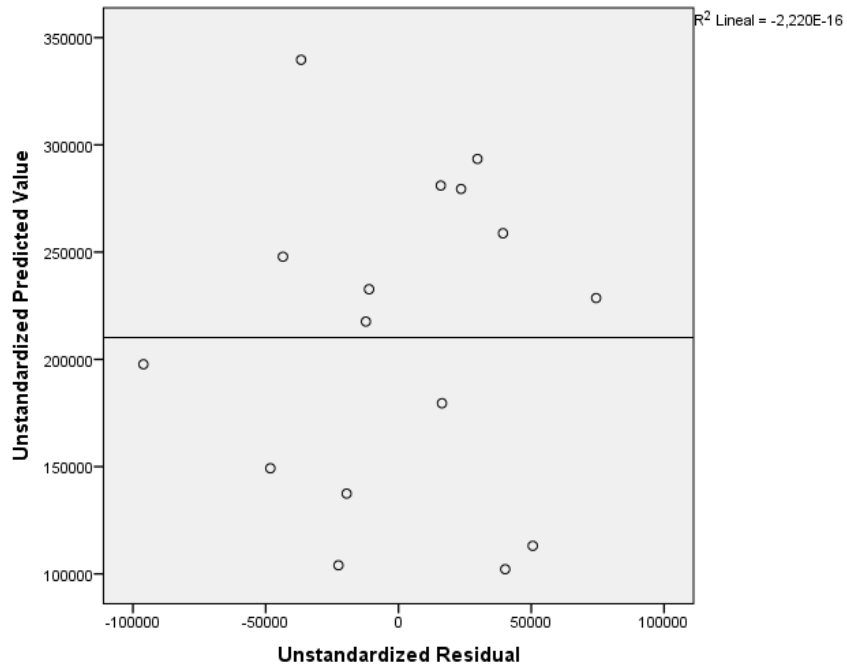


Figura 320. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E5

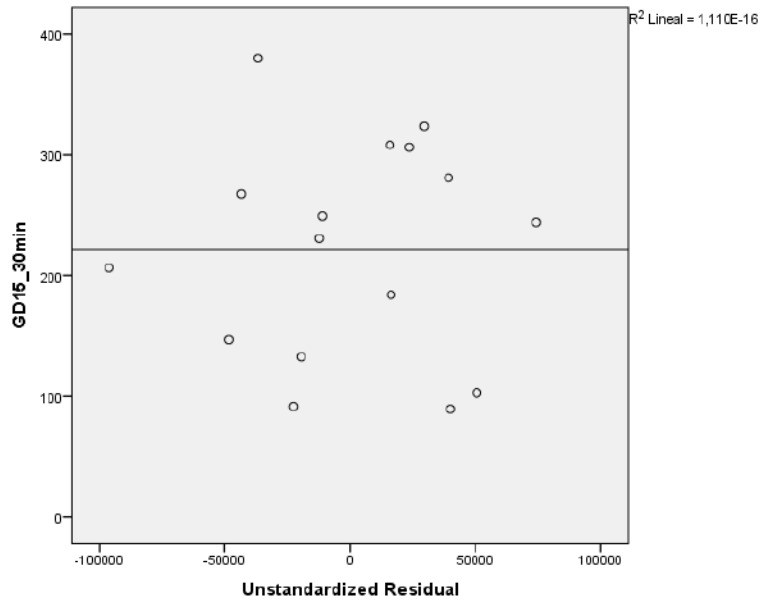


Figura 321. Relación entre GD15_30min y los residuos en el Edificio E5

AV.5.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio E5.

$$\text{kWh_E5_Pronosticado} = 29.320,001 + 816,043 \times \text{GD15_30min}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 490, donde “KWh_E5_Real”, representa el consumo real redistribuido, “kWh_E5_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 490. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E5.

	GD15_30min	kWh_E5_Real	kWh_E5_Pronosticado
oct-15	97,04	46.600	108.511
nov-15	208,36	200.500	199.353
dic-15	300,09	153.300	274.210
ene-16	271,93	143.600	251.229
feb-16	266,36	356.509	246.684
mar-16	276,34	213.337	254.823
abr-16	181,04	197.436	177.058
may-16	99,34	59.265	110.382
oct-16	97,34	62.832	108.751
nov-16	245,69	198.634	229.814
dic-16	337,25	192.899	304.532
ene-17	386,98	269.378	345.116
feb-17	226,76	218.934	214.366
mar-17	203,17	187.634	195.114
abr-17	129,72	86.924	135.178
may-17	54,86	41.591	74.086
oct-17	92,31	31.700	104.653
nov-17	271,60	183.300	250.958
dic-17	341,26	252.700	307.800
ene-18	327,94	228.300	296.935
feb-18	321,27	296.600	291.486
mar-18	255,02	236.500	237.427
abr-18	143,31	114.600	146.264
may-18	78,41	51.300	93.303

AV.5.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales y pronosticados se distribuyen según una Normal (Sig $>0,05$), como se observa en la Tabla 491

Tabla 491. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,209	8	,200	,926	8	,480
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,135

En la Tabla 492, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E5, en un 18,4 %

Tabla 492. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E5

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	171318,3750		8	97686,40209	34537,35867
kWh_pronosticado	202781,2500	18,4%	8	65664,71757	23215,98354

La Tabla 493 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $> 0,05$)

Tabla 493. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E5

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Diferencias relacionadas		t	gl	Sig. (bilateral)
				95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	-31462,875	74574,073	26365,916	-93808,360	30882,610	-1,193	7	,272

En la Figura 322 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E5, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

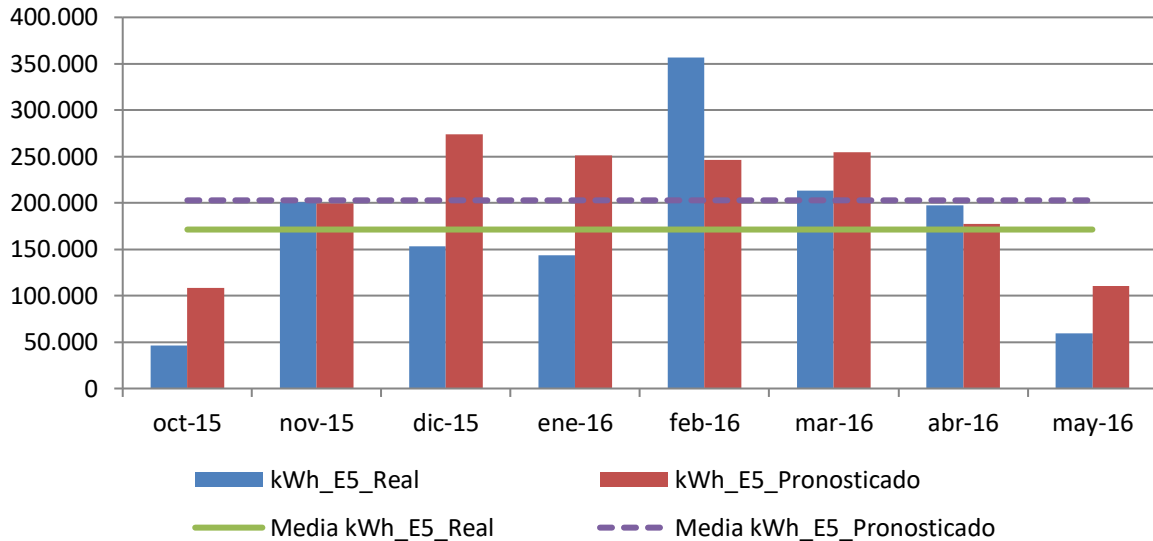


Figura 322. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E5

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 494

Tabla 494. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,268	8	,093	,902	8	,302
kWh_pronosticado	,133	8	,200	,965	8	,856

En la Tabla 495, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E5, en un 27,7 %

Tabla 495. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E5

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	157353,2500		8	82394,26328	29130,77115
kWh_pronosticado	200869,6250	27,7%	8	93717,87383	33134,27205

La Tabla 496 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 496. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E5

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-43516,375	37014,881	13086,737	-74461,590	-12571,160	-3,325	7	,013

En la Figura 323 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E5, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

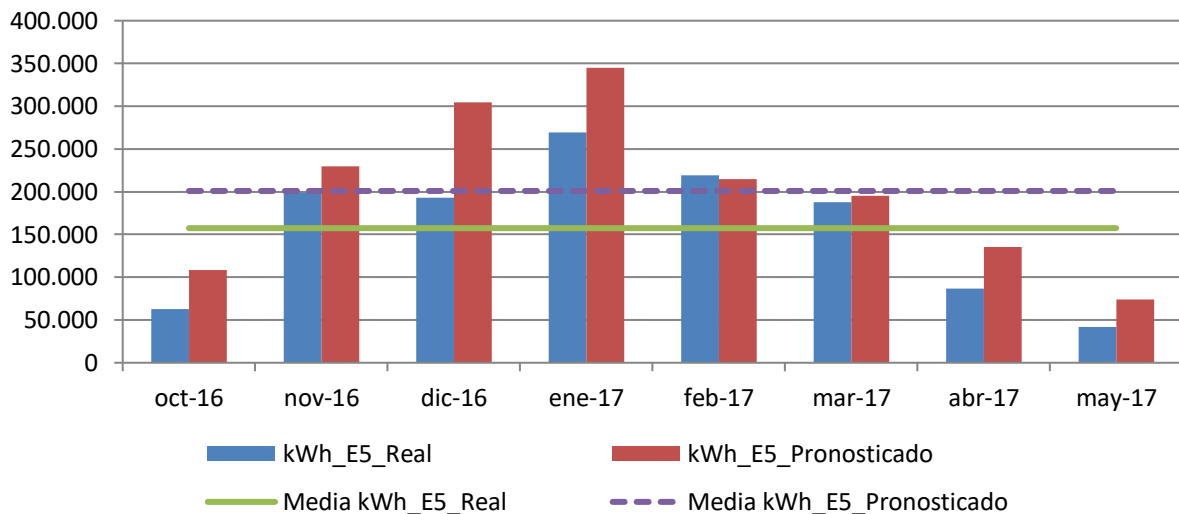


Figura 323. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E5

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 497

Tabla 497. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,209	8	,200	,917	8	,406
kWh_pronosticado	,220	8	,200	,860	8	,119

En la Tabla 498, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E5, en un 23,9 %

Tabla 498. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E5

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	174375,0000		8	97831,84918	34588,78199
kWh_pronosticado	216103,2500	23,9%	8	88376,43605	31245,78861

La Tabla 499 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 499. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E5

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-41728,250	30496,878	10782,275	-67224,278	-16232,222	-3,870	7	,006

En la Figura 324, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E5, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

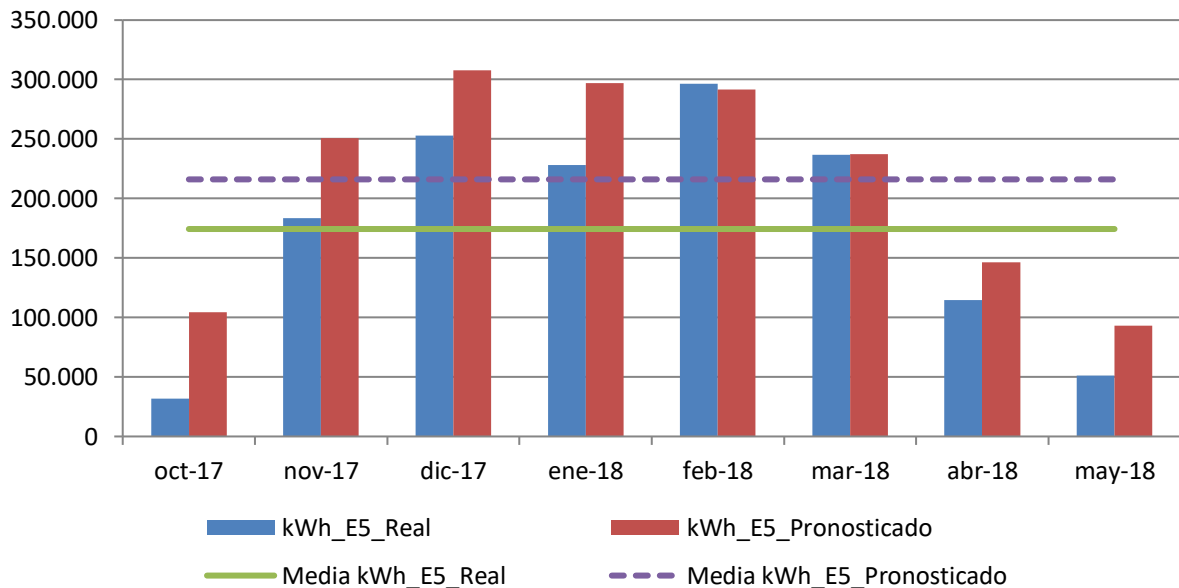


Figura 324. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E5

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 500

Tabla 500. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,153	24	,152	,946	24	,226
kWh_pronosticado	,135	24	,200	,942	24	,183

En la Tabla 501 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E5, en un 23,2 %

Tabla 501. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	167682,2083		24	89110,39802	18189,58383
kWh_pronosticado	206584,7083	23,2%	24	80064,88539	16343,17629

La Tabla 502 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig ≤ 0,05)

Tabla 502. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5

	Diferencias relacionadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					
				Inferior	Superior				
kWh_real - kWh_pronosticado	-38902,500	49214,322	10045,831	-59683,886	-18121,114	-3,873	23	,001	

AV.5.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gasóleo se producen 0,311 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 503, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gasóleo originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 503. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio E5.

	kWh_ E5 Gasóleo	kWh_ E5 Biomasa	kWh_ E5 Real Total	kWh_ E5 Predicho	kg CO ₂ Real debido al consumo de Gasóleo	kg CO ₂ Real debido a Biomasa	kg CO ₂ Real debido al consumo TOTAL	kg CO ₂ que se hubiera tenido debido a Gasóleo	Ahorro de kg CO ₂	Ahorro de kg CO ₂ acumulado
oct-2015	0	46.600	46600	108.511	0	1.118	1.118	33.747	32.629	32.629
nov-2015	0	200.500	200500	199.353	0	4.812	4.812	61.999	57.187	89.815
dic-2015	0	153.300	153300	274.210	0	3.679	3.679	85.279	81.600	171.415
ene-2016	0	143.600	143600	251.229	0	3.446	3.446	78.132	74.686	246.101
feb-2016	94.059	262.450	356509	246.684	29.252	6.299	35.551	76.719	41.168	287.269
mar-2016	9.087	204.250	213337	254.823	2.826	4.902	7.728	79.250	71.522	358.791
abr-2016	2.436	195.000	197436	177.058	758	4.680	5.438	55.065	49.627	408.418
may-2016	565	58.700	59265	110.382	176	1.409	1.584	34.329	32.744	441.163
oct-2016	23.832	39.000	62832	108.751	7.412	936	8.348	33.822	25.474	466.637
nov-2016	4.634	194.000	198634	229.814	1.441	4.656	6.097	71.472	65.375	532.012
dic-2016	2.999	189.900	192899	304.532	933	4.558	5.490	94.709	89.219	621.231
ene-2017	7.078	262.300	269378	345.116	2.201	6.295	8.496	107.331	98.835	720.066
feb-2017	1.234	217.700	218934	214.366	384	5.225	5.608	66.668	61.059	781.125
mar-2017	1.234	186.400	187634	195.114	384	4.474	4.857	60.681	55.823	836.948
abr-2017	524	86.400	86924	135.178	163	2.074	2.237	42.041	39.804	876.752
may-2017	2.691	38.900	41591	74.086	837	934	1.770	23.041	21.270	898.023
oct-2017	0	31.700	31700	104.653	0	761	761	32.547	31.786	929.809
nov-2017	0	183.300	183300	250.958	0	4.399	4.399	78.048	73.649	1.003.458
dic-2017	0	252.700	252700	307.800	0	6.065	6.065	95.726	89.661	1.093.119
ene-2018	0	228.300	228300	296.935	0	5.479	5.479	92.347	86.868	1.179.986
feb-2018	0	296.600	296600	291.486	0	7.118	7.118	90.652	83.534	1.263.520
mar-2018	0	236.500	236500	237.427	0	5.676	5.676	73.840	68.164	1.331.684
abr-2018	0	114.600	114600	146.264	0	2.750	2.750	45.488	42.738	1.374.422
may-2018	0	51.300	51300	93.303	0	1.231	1.231	29.017	27.786	1.402.208

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 1.402 Toneladas de CO₂, debido al consumo térmico del edificio E5.

AV.5.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 504 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 505, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 504. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,0560
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,0614			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,05317			

Tabla 505. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E5

	kWh_E5 Gasóleo	kWh_E5_ Biomasa	kWh_E5 Real	kWh_E5 Pronosticado	€ Real Gasóleo	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gasóleo	€ Ahorro	€ Acumulado	
oct-2015	0	46.600	46600	108.511	0	2.478	2.478	5.610	3.132	3.132	
nov-2015	0	200.500	200500	199.353	0	10.661	10.661	10.307	-354	2.778	
dic-2015	0	153.300	153300	274.210	0	8.151	8.151	14.177	6.026	8.804	
ene-2016	0	143.600	143600	251.229	0	7.635	7.635	10.979	3.344	12.147	
feb-2016	94.059	262.450	356509	246.684	4.110	13.954	18.065	10.780	-7.285	4.863	
mar-2016	9.087	204.250	213337	254.823	397	10.860	11.257	11.136	-121	4.741	
abr-2016	2.436	195.000	197436	177.058	106	10.368	10.475	7.737	-2.737	2.004	
may-2016	565	58.700	59265	110.382	25	3.121	3.146	4.824	1.678	3.682	
oct-2016	23.832	39.000	62832	108.751	1.041	2.074	3.115	4.752	1.637	5.320	
nov-2016	4.634	194.000	198634	229.814	202	10.315	10.517	10.043	-475	4.845	
dic-2016	2.999	189.900	192899	304.532	131	10.097	10.228	13.308	3.080	7.925	
ene-2017	7.078	262.300	269378	345.116	353	13.946	14.300	17.221	2.922	10.847	
feb-2017	1.234	217.700	218934	214.366	62	11.575	11.637	10.697	-940	9.907	
mar-2017	1.234	186.400	187634	195.114	62	9.911	9.972	9.736	-236	9.671	
abr-2017	524	86.400	86924	135.178	26	4.594	4.620	6.745	2.125	11.796	
may-2017	2.691	38.900	41591	74.086	134	2.068	2.203	3.697	1.494	13.290	
oct-2017	0	31.700	31700	104.653	0	1.685	1.685	5.222	3.537	16.827	
nov-2017	0	183.300	183300	250.958	0	9.746	9.746	12.523	2.777	19.604	
dic-2017	0	252.700	252700	307.800	0	13.436	13.436	15.359	1.923	21.527	
ene-2018	0	228.300	228300	296.935	0	12.139	12.139	16.628	4.490	26.016	
feb-2018	0	296.600	296600	291.486	0	15.770	15.770	16.323	553	26.569	
mar-2018	0	236.500	236500	237.427	0	12.575	12.575	13.296	721	27.291	
abr-2018	0	114.600	114600	146.264	0	6.093	6.093	8.191	2.098	29.388	
may-2018	0	51.300	51300	93.303	0	2.728	2.728	5.225	2.497	31.886	
€ Total							212.631	244.516			
Ahorro (%)										15,0%	

AV.6. Edificio E6. Colegio Mayor Femenino Santa Cruz.

AV.6.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 506

Tabla 506. Consumos térmicos del edificio E6

Consumos térmicos (kWh). E6	
oct-12	26.717
nov-12	70.411
dic-12	69.423
ene-13	60.486
feb-13	77.600
mar-13	62.022
abr-13	47.899
may-13	31.816
oct-13	20.432
nov-13	61.042
dic-13	86.228
ene-14	67.999
feb-14	79.509
mar-14	51.450
abr-14	41.877
may-14	22.289
Promedio	54.825
Total (oct-12-may-13)	446.374
Total (oct-13-may-14)	430.826
Total (oct-12-may-13)	877.200

Como se puede ver en la Tabla 507 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Temperatura media). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo la Temperatura media, por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 508 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 507. Modelos de regresión del Edificio E6

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	99745,107	4760,636	20,952	,000	89534,559	109955,656
T_med	-5510,824	537,217	-10,258	,000	-6663,039	-4358,61

En la Figura 325 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

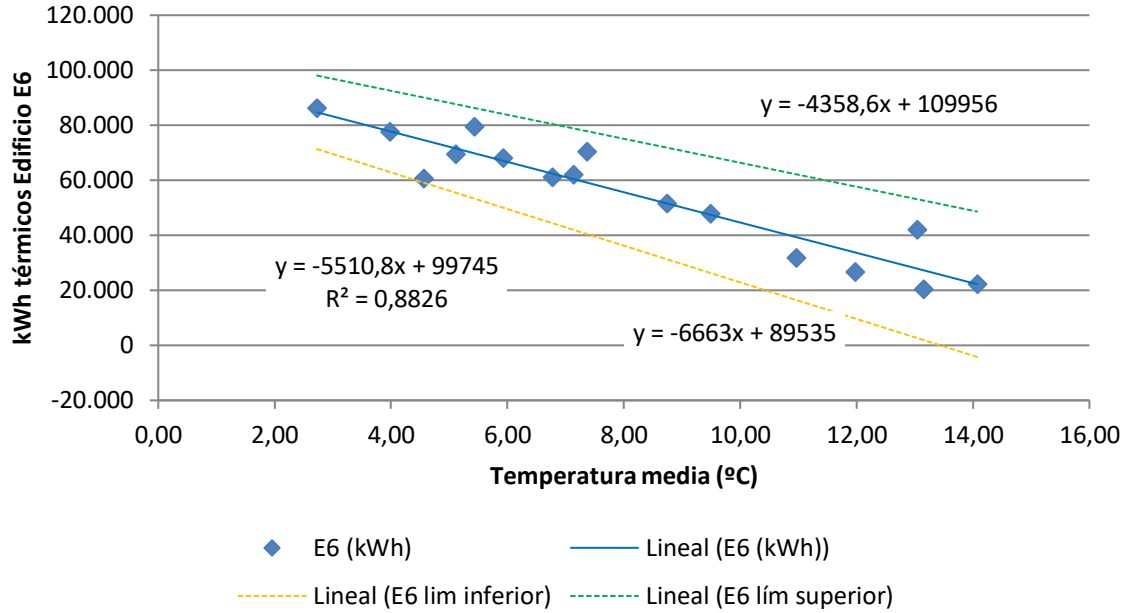


Figura 325. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E6

Tabla 508. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E6

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-1,212	,247	-,319
	GD20_30min	-1,448	,171	-,373
	GD15_24h	-1,661	,121	-,418
	GD20_24h	-1,616	,130	-,409
	T_media_diurna_C	,296	,772	,082
	T_max_C	,126	,902	,035
	T_min_C	-,409	,690	-,113
	HR_%	-,600	,559	-,164
	HR_med_diurna_%	-,489	,633	-,134
1	HR_max_%	-,929	,370	-,250
	HR_min_%	-,614	,550	-,168
	V_Viento_m/s	1,103	,290	,293
	V_viento_diurna_m/s	1,238	,238	,325
	V_viento_nocturna_m/s	,944	,363	,253
	V_viento_max_m/s	1,357	,198	,352
	Recorrido_viento_km/día	1,109	,288	,294
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,252	,805	,070
	Horas insolación_h	,229	,822	,063
	Radiación_W/m2	,438	,669	,121

La bondad del modelo de regresión obtenido para el edificio E6, se resumen en la Tabla 509

Tabla 509. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E6

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,939	,883	,874	7470,6206

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,939, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es inversa, al aumentar el valor de la Temperatura, disminuye el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 88,3% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 7.470 kWh, lo que representa un 13,6% del promedio de los consumos que fue de 7.470,62 kWh.

AV.6.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 507, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E6) y la independiente (T_med). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la temperatura media.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula la que la distribución es Normal.

La Tabla 510, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: T_med poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 510. Prueba de normalidad para el edificio E6

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E6	,168	16	,200	,939	16	,337
T_med	,150	16	,200	,942	16	,376

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,950.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629]

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,950 está dentro del intervalo de ausencia de correlación, se concluye que no existe autocorrelación en los residuos.

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 326 y Figura 327, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (T_med) y los residuos un coeficiente de determinación de $-2,22 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

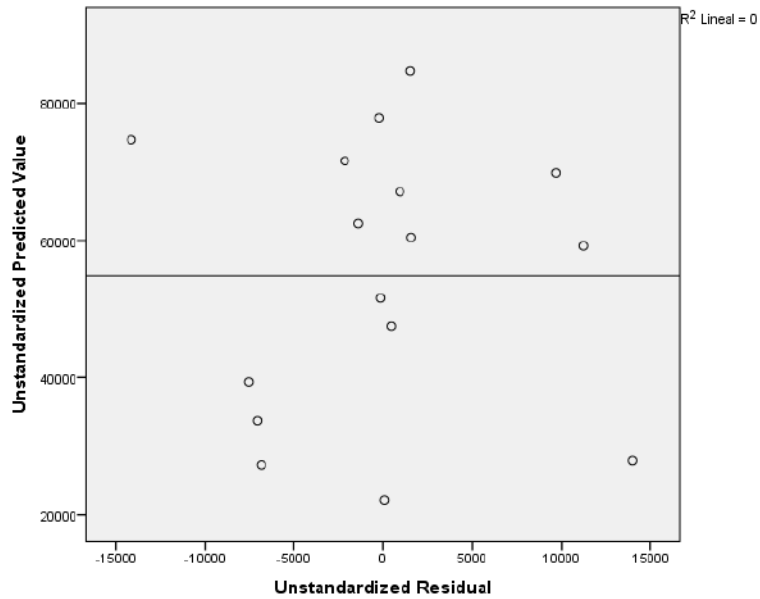


Figura 326. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E6

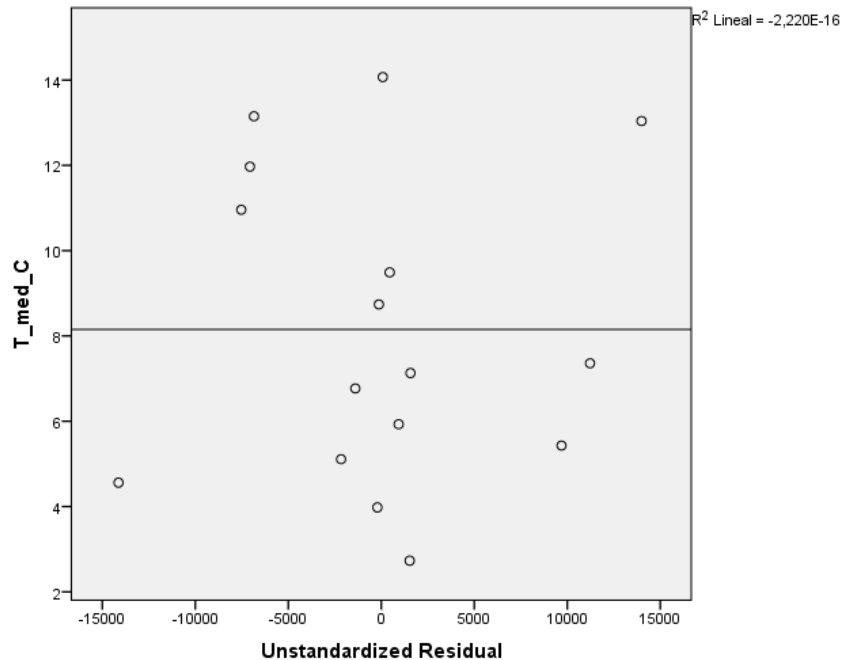


Figura 327. Relación entre T_med y los residuos en el Edificio E6

AV.6.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio E6.

$$\text{kWh}_{E6_Pronosticado} = 99.745,107 - 5.510,824 \times T_med$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 511, donde “KWh_E6_Real”, representa el consumo real redistribuido, “kWh_E6_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 511. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E6.

	T_med	kWh_E6_Real	kWh_E6_Pronosticado
oct-15	12,82	18.867	29.104
nov-15	8,30	72.507	53.993
dic-15	5,33	53.670	70.376
ene-16	6,23	57.688	65.389
feb-16	5,82	109.816	67.698
mar-16	6,14	67.548	65.889
abr-16	9,10	61.805	49.593
may-16	13,11	22.683	27.474
oct-16	13,40	28.182	25.926
nov-16	6,90	77.281	61.716
dic-16	4,12	77.584	77.035
ene-17	2,52	93.129	85.876
feb-17	6,96	76.931	61.395
mar-17	9,21	67.113	48.993
abr-17	12,58	32.504	30.440
may-17	16,69	20.749	7.785
oct-17	14,71	23.998	18.676
nov-17	6,09	77.893	66.180
dic-17	3,99	98.278	77.747
ene-18	4,42	89.052	75.381
feb-18	3,53	108.817	80.304
mar-18	6,80	90.765	62.257
abr-18	11,15	41.843	38.320
may-18	14,03	25.939	22.443

AV.6.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales y pronosticados se distribuyen según una Normal (Sig $>0,05$), como se observa en la Tabla 512

Tabla 512. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E6

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,189	8	,200	,930	8	,520
kWh_pronosticado	,252	8	,144	,839	8	,074

En la Tabla 513, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E6, en un 7,5 %

Tabla 513. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E6

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	58073,0000		8	28781,14220	10175,67041
kWh_pronosticado	53689,5000	-7,5%	8	17192,00865	6078,29295

La Tabla 514 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $> 0,05$)

Tabla 514. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E6

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Diferencias relacionadas		t	gl	Sig. (bilateral)
				95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	4383,500	19201,951	6788,915	-11669,733	20436,733	,646	7	,539

En la Figura 328 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E6, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

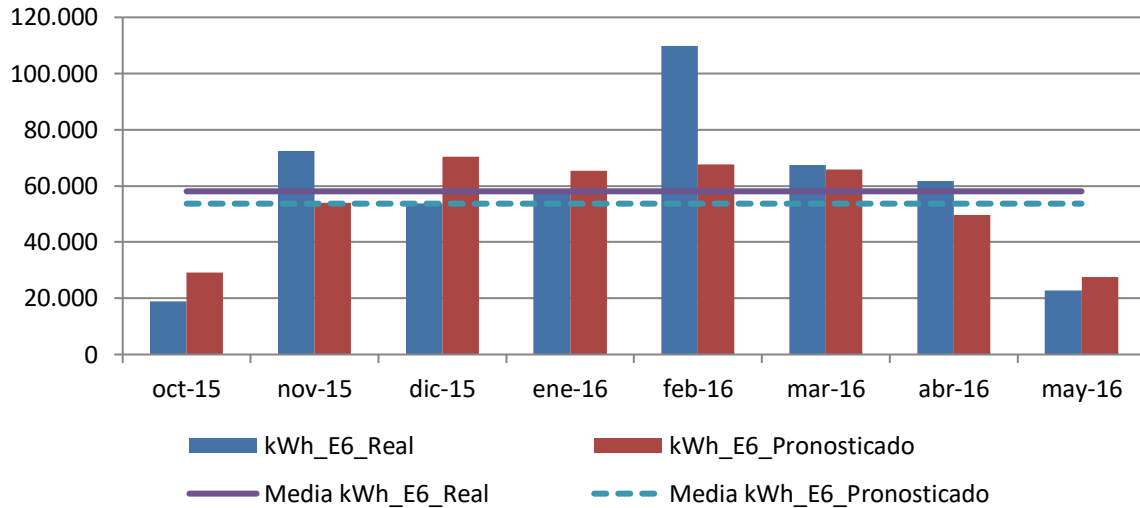


Figura 328. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E6

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 515

Tabla 515. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E6

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,240	8	,197	,860	8	,121
kWh_pronosticado	,166	8	,200	,963	8	,836

En la Tabla 516, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E6, en un 15,7 %

Tabla 516. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E6

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	59184,1250		8	27636,27304	9770,89804
kWh_pronosticado	49895,7500	-15,7%	8	26806,91192	9477,67460

La Tabla 517 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 517. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E6

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	9288,375	7092,269	2507,496	3359,090	15217,660	3,704	7	,008

En la Figura 329 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E6, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

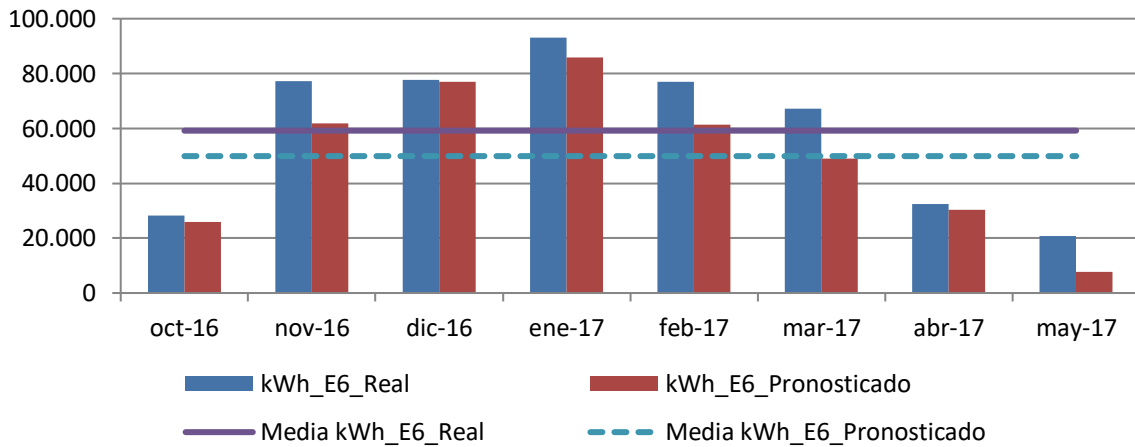


Figura 329. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E6

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 518

Tabla 518. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E6

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,222	8	,200	,868	8	,145
kWh_pronosticado	,236	8	,200	,858	8	,114

En la Tabla 519, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E6, en un 20,7 %

Tabla 519. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E6

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	69573,1250		8	33831,05663	11961,08478
kWh_pronosticado	55163,5000	-20,7%	8	25094,56345	8872,26799

La Tabla 520 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 520. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E6

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	14409,625	10441,461	3691,614	5680,346	23138,904	3,903	7	,006

En la Figura 330, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E6, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

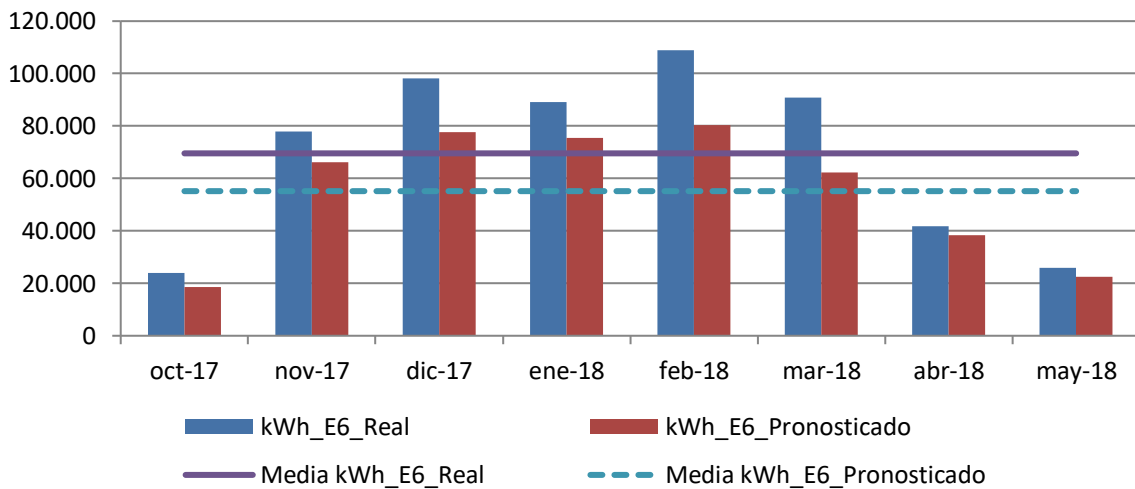


Figura 330. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E6

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 521

Tabla 521. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,137	24	,200	,930	24	,096
kWh_pronosticado	,189	24	,027	,931	24	,100

En la Tabla 522 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E6, en un 15,0 %

Tabla 522. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	62276,7500		24	29340,86802	5989,17961
kWh_pronosticado	52916,2500	-15,0%	24	22482,41957	4589,20468

La Tabla 523 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig ≤ 0,05)

Tabla 523. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	9360,500	13348,881	2724,829	3723,762	14997,238	3,435	23	,002

AV.6.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que al consumir Gas Natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 524, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y utilizando el Modelo de regresión, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 524. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E6.

	kWh_ E6 Gas natural	kWh_ E6 Biomasa	kWh_ E6 Real Total	kWh_ E6 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	18.867	18.867	18.867	0	453	453	4.754	4.302	4.302
nov-2015	0	72.507	72.507	72.507	0	1.740	1.740	18.272	16.532	20.833
dic-2015	0	53.670	53.670	53.670	0	1.288	1.288	13.525	12.237	33.070
ene-2016	0	57.688	57.688	57.688	0	1.385	1.385	14.537	13.153	46.223
feb-2016	25.685	84.131	109.816	109.816	6.473	2.019	8.492	27.674	19.182	65.405
mar-2016	4.595	62.953	67.548	67.548	1.158	1.511	2.669	17.022	14.353	79.758
abr-2016	1.502	60.303	61.805	61.805	378	1.447	1.826	15.575	13.749	93.507
may-2016	2.841	19.842	22.683	22.683	716	476	1.192	5.716	4.524	98.031
oct-2016	9.665	18.517	28.182	28.182	2.436	444	2.880	7.102	4.222	102.253
nov-2016	776	76.505	77.281	77.281	196	1.836	2.032	19.475	17.443	119.696
dic-2016	16	77.568	77.584	77.584	4	1.862	1.866	19.551	17.686	137.382
ene-2017	1.072	92.057	93.129	93.129	270	2.209	2.480	23.469	20.989	158.371
feb-2017	40	76.891	76.931	76.931	10	1.845	1.855	19.387	17.531	175.902
mar-2017	32	67.081	67.113	67.113	8	1.610	1.618	16.912	15.294	191.196
abr-2017	32	32.472	32.504	32.504	8	779	787	8.191	7.404	198.600
may-2017	48	20.701	20.749	20.749	12	497	509	5.229	4.720	203.320
oct-2017	11.185	12.813	23.998	23.998	2.819	308	3.126	6.048	2.921	206.241
nov-2017	144	77.749	77.893	77.893	36	1.866	1.902	19.629	17.727	223.968
dic-2017	104	98.174	98.278	98.278	26	2.356	2.382	24.766	22.384	246.351
ene-2018	264	88.788	89.052	89.052	67	2.131	2.197	22.441	20.244	266.595
feb-2018	72	108.745	108.817	108.817	18	2.610	2.628	27.422	24.794	291.389
mar-2018	976	89.789	90.765	90.765	246	2.155	2.401	22.873	20.472	311.861
abr-2018	0	41.843	41.843	41.843	0	1.004	1.004	10.544	9.540	321.401
may-2018	0	25.939	25.939	25.939	0	623	623	6.537	5.914	327.315

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 327 Toneladas de CO₂, debido al cambio de energía utilizada.

AV.5.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 525 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 526, muestrar el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 525. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,0323			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,0279			

Tabla 526. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E6

	kWh_E6 Gas natural	kWh_E6_ Biomasa	kWh_E6 Real	kWh_E6 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas Natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	18.867	18.867	18.867	0	526	526	704	177	177
nov-2015	0	72.507	72.507	72.507	0	2.023	2.023	2.705	682	859
dic-2015	0	53.670	53.670	53.670	0	1.497	1.497	2.002	504	1.363
ene-2016	0	57.688	57.688	57.688	0	1.609	1.609	1.765	156	1.519
feb-2016	25.685	84.131	109.816	109.816	786	2.347	3.133	3.360	227	1.746
mar-2016	4.595	62.953	67.548	67.548	141	1.756	1.897	2.067	170	1.916
abr-2016	1.502	60.303	61.805	61.805	46	1.682	1.728	1.891	163	2.079
may-2016	2.841	19.842	22.683	22.683	87	554	641	694	54	2.133
oct-2016	9.665	18.517	28.182	28.182	296	517	812	862	50	2.183
nov-2016	776	76.505	77.281	77.281	24	2.134	2.158	2.365	207	2.389
dic-2016	16	77.568	77.584	77.584	0	2.164	2.165	2.374	209	2.599
ene-2017	1.072	92.057	93.129	93.129	34	2.568	2.602	2.924	322	2.921
feb-2017	40	76.891	76.931	76.931	1	2.145	2.147	2.416	269	3.190
mar-2017	32	67.081	67.113	67.113	1	1.872	1.873	2.107	235	3.425
abr-2017	32	32.472	32.504	32.504	1	906	907	1.021	114	3.538
may-2017	48	20.701	20.749	20.749	2	578	579	652	72	3.611
oct-2017	11.185	12.813	23.998	23.998	351	357	709	754	45	3.656
nov-2017	144	77.749	77.893	77.893	5	2.169	2.174	2.446	272	3.928
dic-2017	104	98.174	98.278	98.278	3	2.739	2.742	3.086	344	4.271
ene-2018	264	88.788	89.052	89.052	9	2.477	2.486	2.992	506	4.778
feb-2018	72	108.745	108.817	108.817	2	3.034	3.036	3.656	620	5.397
mar-2018	976	89.789	90.765	90.765	33	2.505	2.538	3.050	512	5.909
abr-2018	0	41.843	41.843	41.843	0	1.167	1.167	1.406	239	6.148
may-2018	0	25.939	25.939	25.939	0	724	724	872	148	6.296
€ Total							41.874	48.170		
Ahorro (%)										15,0%

AV.7. Edificio E7. Instituto de Biología Genética y Molecular.

AV.7.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 527

Tabla 527. Consumos térmicos del edificio E7

Consumos térmicos (kWh). E7	
oct-12	7.328
nov-12	29.013
dic-12	34.243
ene-13	30.880
feb-13	32.427
mar-13	23.298
abr-13	18.563
may-13	7.021
oct-13	12.346
nov-13	26.338
dic-13	41.230
ene-14	36.151
feb-14	29.124
mar-14	24.955
abr-14	15.668
may-14	11.334
Promedio	23.745
Total (oct-12-may-13)	182.773
Total (oct-13-may-14)	197.146
Total (oct-12-may-13)	379.919

Como se puede ver en la Tabla 528 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados día en base 15, calculados con datos cada 30 minutos). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los GD15_30min, por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 529 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 528. Modelos de regresión del Edificio E7

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-437,414	2854,451	-,153	,880	-6559,603	5684,775
GD15_30min	109,126	11,990	9,102	,000	83,410	134,841

En la Figura 331 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

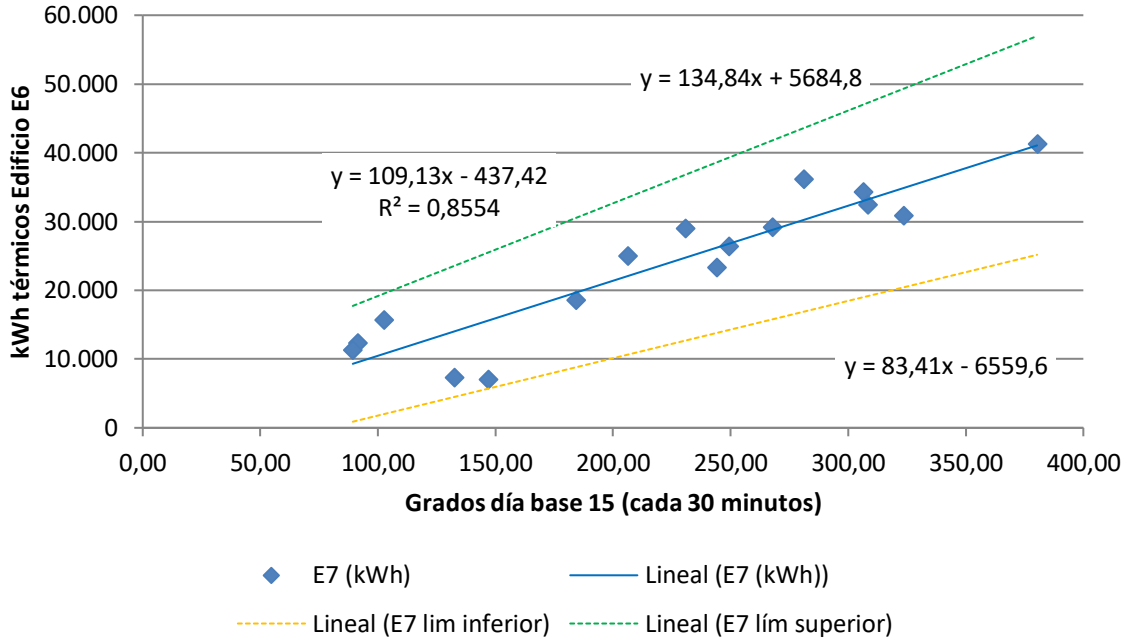


Figura 331. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E7

Tabla 529. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E7

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD20_30min	-,235	,818	-,065
	GD15_24h	-,046	,964	-,013
	GD20_24h	-,252	,805	-,070
	T_med_C	-,030	,976	-,008
	T_media_diurna_C	-,453	,658	-,125
	T_max_C	-,368	,719	-,102
	T_min_C	,376	,713	,104
	HR_%	,174	,865	,048
	HR_med_diurna_%	,364	,722	,100
1	HR_max_%	-,481	,638	-,132
	HR_min_%	,493	,630	,135
	V_Viento_m/s	,468	,647	,129
	V_viento_diurna_m/s	,450	,660	,124
	V_viento_nocturna_m/s	,507	,621	,139
	V_viento_max_m/s	,419	,682	,115
	Recorrido_viento_km/día	,466	,649	,128
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-1,292	,219	-,337
	Horas insolación_h	-1,529	,150	-,390
	Radiación_W/m2	-,693	,500	-,189

La bondad del modelo de regresión obtenido para el edificio E7, se resumen en la Tabla 530

Tabla 530. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E7

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,925	,855	,845	4173,1832

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,925, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 85,5% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 4.173 kWh, lo que representa un 17,6% del promedio de los consumos que fue de 23.745 kWh.

AV.7.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 528, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E7) y la independiente (GD15_30min). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula la que la distribución es Normal.

La Tabla 531, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD15_30min poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 531. Prueba de normalidad para el edificio E7

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E7	,128	16	,200	,952	16	,529
GD15_30min	,109	16	,200	,953	16	,541

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,861.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629]

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,861 está dentro del intervalo de ausencia de correlación, se concluye que no existe autocorrelación en los residuos.

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 332 y Figura 333, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (GD15_30min) y los residuos un coeficiente de determinación de $1,11 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

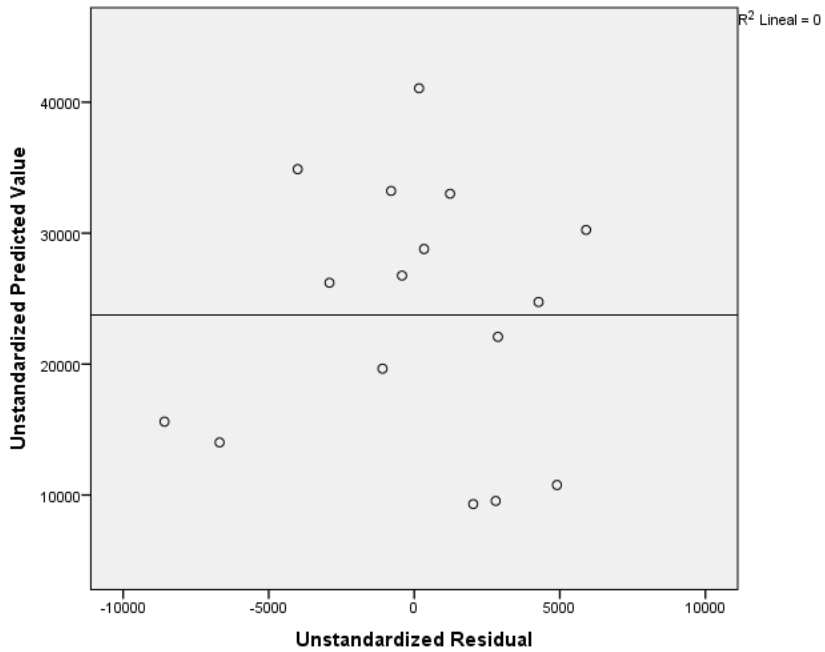


Figura 332. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E7

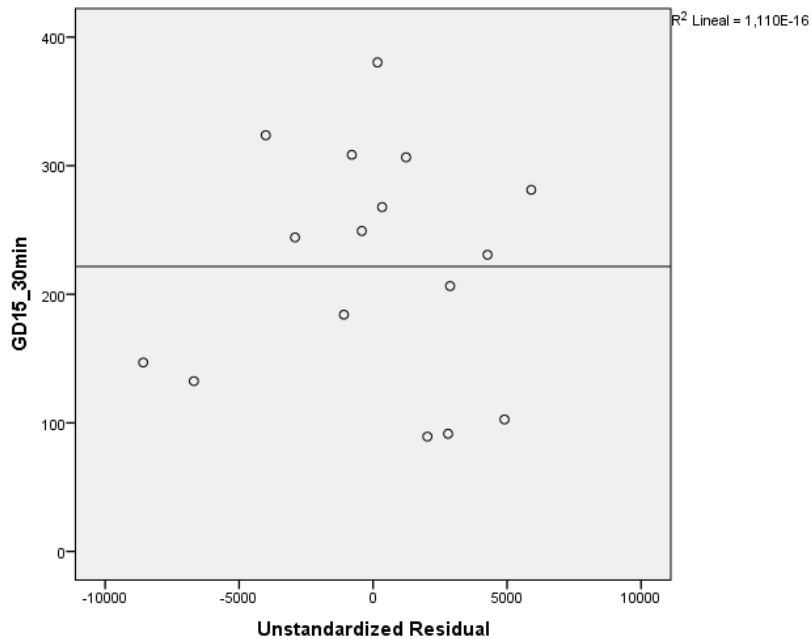


Figura 333. Relación entre GD15_30min y los residuos en el Edificio E7

AV.7.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio E7.

$$\text{kWh}_{E7_Pronosticado} = -437,414 + 109,126 \times \text{GD15}_{30\text{min}}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 532, donde “KWh_E7_Real”, representa el consumo real redistribuido, “kWh_E7_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 532. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E7.

	GD15_30min	kWh_E7_Real	kWh_E7_Pronosticado
oct-15	97,04	4.549	10.152
nov-15	208,36	15.559	22.300
dic-15	300,09	11.035	32.311
ene-16	271,93	30.213	29.238
feb-16	266,36	63.667	28.630
mar-16	276,34	32.434	29.718
abr-16	181,04	22.115	19.319
may-16	99,34	8.218	10.403
oct-16	97,34	9.706	10.185
nov-16	245,69	26.341	26.374
dic-16	337,25	33.256	36.365
ene-17	386,98	37.659	41.793
feb-17	226,76	25.322	24.308
mar-17	203,17	21.876	21.734
abr-17	129,72	13.691	13.719
may-17	54,86	7.778	5.549
oct-17	92,31	5.393	9.637
nov-17	271,60	21.837	29.201
dic-17	341,26	36.608	36.803
ene-18	327,94	38.115	35.350
feb-18	321,27	43.138	34.621
mar-18	255,02	32.745	27.392
abr-18	143,31	22.137	15.201
may-18	78,41	12.372	8.119

AV.7.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales y pronosticados se distribuyen según una Normal (Sig $>0,05$), como se observa en la Tabla 533

Tabla 533. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E7

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,194	8	,200	,872	8	,156
kWh_pronosticado	,248	8	,159	,865	8	,135

En la Tabla 534, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E7, en un 3,0 %

Tabla 534. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E7

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	23473,7500		8	19091,12343	6749,73142
kWh_pronosticado	22758,8750	-3,0%	8	8781,19690	3104,62194

La Tabla 535 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $> 0,05$)

Tabla 535. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E7

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	Diferencias relacionadas		t	gl	Sig. (bilateral)
				95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	714,875	15919,103	5628,253	-12593,829	14023,579	,127	7	,902

En la Figura 334 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E7, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

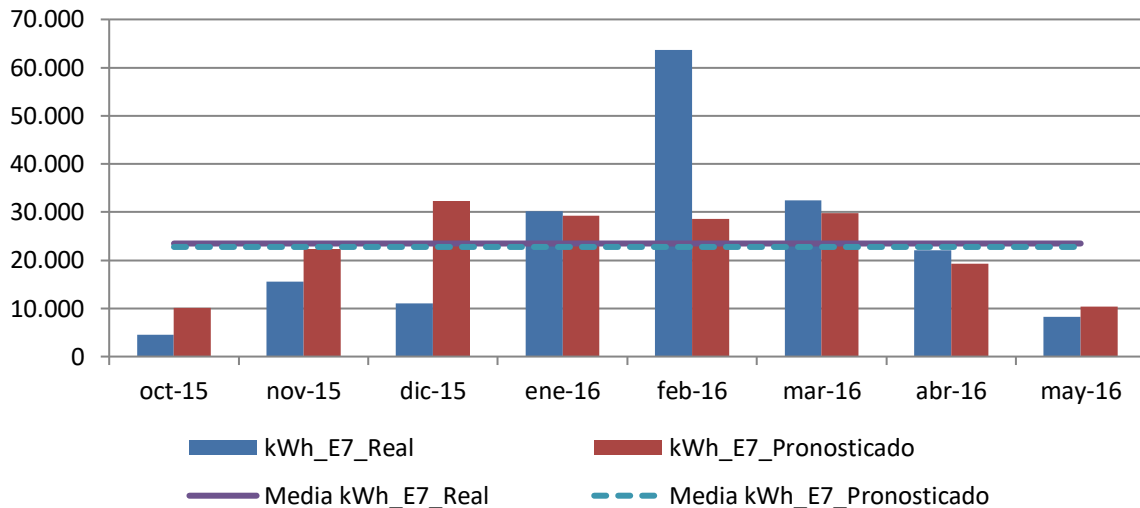


Figura 334. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E7

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 536

Tabla 536. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E7

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,152	8	,200	,947	8	,681
kWh_pronosticado	,133	8	,200	,965	8	,856

En la Tabla 537, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E7, en un 2,5 %

Tabla 537. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E7

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	21953,6250		8	10851,11682	3836,44914
kWh_pronosticado	22503,3750	2,5%	8	12532,37559	4430,86388

La Tabla 538 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} > 0,05$)

Tabla 538. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E7

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-549,750	2090,323	739,041	-2297,304	1197,804	-,744	7	,481

En la Figura 335 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E7, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

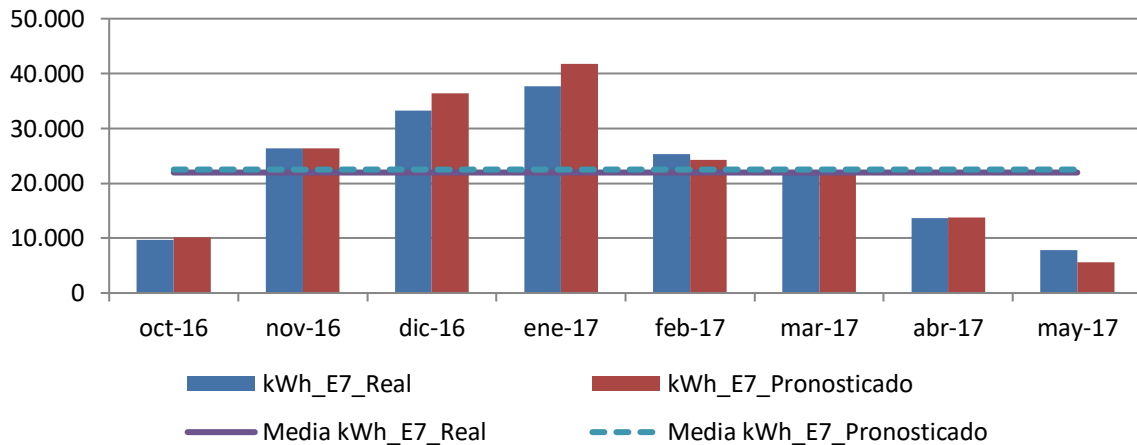


Figura 335. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E7

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 539

Tabla 539. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E7

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,179	8	,200	,942	8	,634
kWh_pronosticado	,220	8	,200	,860	8	,119

En la Tabla 540, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E7, en un 7,5 %

Tabla 540. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E7

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	26543,1250		8	13302,91725	4703,29150
kWh_pronosticado	24540,5000	-7,5%	8	11818,19556	4178,36311

La Tabla 541 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05)

Tabla 541. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E7

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	2002,625	5545,001	1960,454	-2633,112	6638,362	1,022	7	,341

En la Figura 336, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E7, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

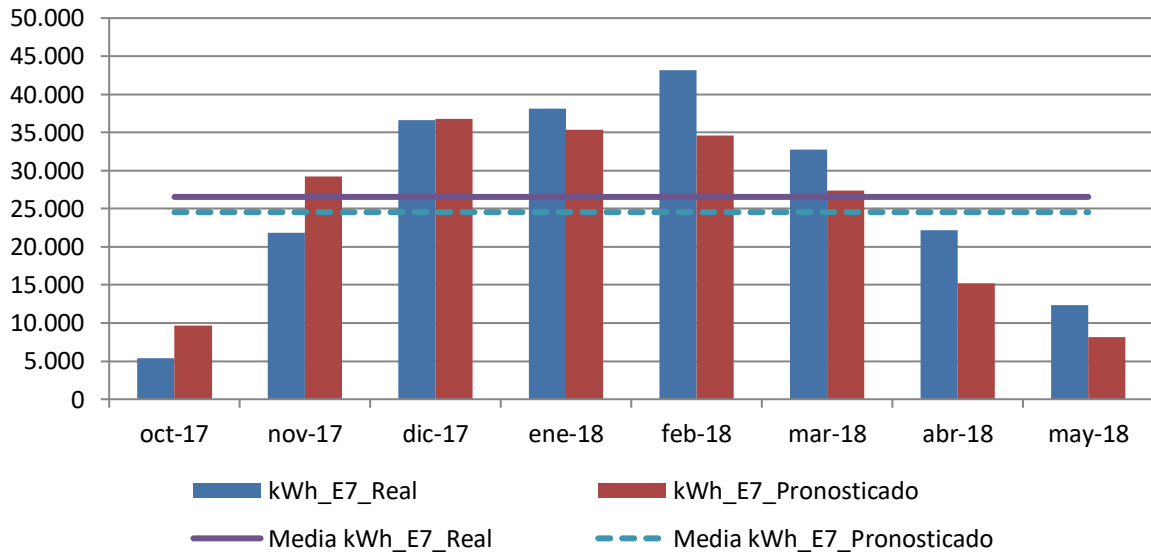


Figura 336. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E7

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 542

Tabla 542. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,098	24	,200	,938	24	,148
kWh_pronosticado	,135	24	,200	,942	24	,183

En la Tabla 543 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E7, en un 3,0 %

Tabla 543. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	23990,1667		24	14297,69157	2918,50407
kWh_pronosticado	23267,5833	-3,0%	24	10706,72715	2185,50153

La Tabla 544 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05)

Tabla 544. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	722,583	9431,214	1925,139	-3259,869	4705,036	,375	23	,711

AV.7.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que al consumir Gas Natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 545, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y dado que no se han detectado diferencias significativas, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 545. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E7.

	kWh_ E7 Gas natural	kWh_ E7 Biomasa	kWh_ E7 Real Total	kWh_ E7 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	4.549	4.549	4.549	0	109	109	1.146	1.037	1.037
nov-2015	0	15.559	15.559	15.559	0	373	373	3.921	3.547	4.585
dic-2015	0	11.035	11.035	11.035	0	265	265	2.781	2.516	7.101
ene-2016	0	30.213	30.213	30.213	0	725	725	7.614	6.889	13.989
feb-2016	30.727	32.940	63.667	63.667	7.743	791	8.534	16.044	7.510	21.499
mar-2016	739	31.695	32.434	32.434	186	761	947	8.173	7.226	28.726
abr-2016	73	22.042	22.115	22.115	18	529	547	5.573	5.026	33.752
may-2016	24	8.194	8.218	8.218	6	197	203	2.071	1.868	35.620
oct-2016	4.184	5.522	9.706	9.706	1.054	133	1.187	2.446	1.259	36.879
nov-2016	328	26.013	26.341	26.341	83	624	707	6.638	5.931	42.810
dic-2016	48	33.208	33.256	33.256	12	797	809	8.381	7.571	50.381
ene-2017	0	37.659	37.659	37.659	0	904	904	9.490	8.586	58.967
feb-2017	0	25.322	25.322	25.322	0	608	608	6.381	5.773	64.741
mar-2017	0	21.876	21.876	21.876	0	525	525	5.513	4.988	69.729
abr-2017	0	13.691	13.691	13.691	0	329	329	3.450	3.122	72.850
may-2017	496	7.778	7.778	7.778	125	175	300	1.960	1.660	74.510
oct-2017	3.048	2.345	5.393	5.393	768	56	824	1.359	535	75.045
nov-2017	24	21.813	21.837	21.837	6	524	530	5.503	4.973	80.018
dic-2017	0	36.608	36.608	36.608	0	879	879	9.225	8.347	88.365
ene-2018	112	38.003	38.115	38.115	28	912	940	9.605	8.665	97.030
feb-2018	128	43.010	43.138	43.138	32	1.032	1.064	10.871	9.806	106.836
mar-2018	168	32.577	32.745	32.745	42	782	824	8.252	7.428	114.264
abr-2018	424	21.713	22.137	22.137	107	521	628	5.579	4.951	119.214
may-2018	0	12.372	12.372	12.372	0	297	297	3.118	2.821	122.035

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 122 Toneladas de CO₂, debido al cambio de la energía utilizada.

AV.7.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 546 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 547, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 546. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03208			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02758			

Tabla 547. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E7

	kWh_E7 Gas natural	kWh_E7_ Biomasa	kWh_E7 Real	kWh_E7 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas Natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	4.549	4.549	4.549	0	125	125	170	44	44
nov-2015	0	15.559	15.559	15.559	0	429	429	580	151	195
dic-2015	0	11.035	11.035	11.035	0	304	304	412	107	303
ene-2016	0	30.213	30.213	30.213	0	833	833	925	91	394
feb-2016	30.727	32.940	63.667	63.667	940	908	1.849	1.948	99	493
mar-2016	739	31.695	32.434	32.434	23	874	897	992	96	589
abr-2016	73	22.042	22.115	22.115	2	608	610	677	67	656
may-2016	24	8.194	8.218	8.218	1	226	227	251	25	680
oct-2016	4.184	5.522	9.706	9.706	128	152	280	297	17	697
nov-2016	328	26.013	26.341	26.341	10	717	727	806	79	776
dic-2016	48	33.208	33.256	33.256	1	916	917	1.018	100	876
ene-2017	0	37.659	37.659	37.659	0	1.039	1.039	1.182	144	1.020
feb-2017	0	25.322	25.322	25.322	0	698	698	795	97	1.117
mar-2017	0	21.876	21.876	21.876	0	603	603	687	84	1.200
abr-2017	0	13.691	13.691	13.691	0	378	378	430	52	1.252
may-2017	496	7.282	7.778	7.778	16	201	216	244	28	1.280
oct-2017	3.048	2.345	5.393	5.393	96	65	160	169	9	1.289
nov-2017	24	21.813	21.837	21.837	1	602	602	686	83	1.373
dic-2017	0	36.608	36.608	36.608	0	1.010	1.010	1.149	140	1.512
ene-2018	112	38.003	38.115	38.115	4	1.048	1.052	1.281	229	1.741
feb-2018	128	43.010	43.138	43.138	4	1.186	1.191	1.449	259	2.000
mar-2018	168	32.577	32.745	32.745	6	898	904	1.100	196	2.196
abr-2018	424	21.713	22.137	22.137	14	599	613	744	131	2.327
may-2018	0	12.372	12.372	12.372	0	341	341	416	74	2.401
€ Total							16.007	18.409		
Ahorro (%)										15,0%

AV.8. Edificio E8. Facultad de Ciencias de la Salud.

AV.8.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 548

Tabla 548. Consumos térmicos del edificio E8

Consumos térmicos (kWh). E8	
oct-12	44.728
nov-12	187.155
dic-12	192.809
ene-13	342.443
feb-13	348.845
mar-13	381.056
abr-13	183.948
may-13	62.781
oct-13	39.057
nov-13	237.231
dic-13	443.980
ene-14	349.596
feb-14	496.930
mar-14	367.450
abr-14	219.679
may-14	11.049
Promedio	244.296
Total (oct-12-may-13)	1.743.765
Total (oct-13-may-14)	2.164.972
Total (oct-12-may-13)	3.908.737

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos.

Utilizando el programa SPSS V.20, se obtiene el modelo de regresión mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 549 para el edificio E8, el método ofrece dos modelos de regresión, uno con una sola variable (Temperatura mínima) y otro con dos variables (Temperatura mínima y velocidad del viento diurna).

El primer modelo (modelo de regresión lineal simple) fue construido con un solo paso, incluyendo la Temperatura mínima por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000) que indica la probabilidad de cometer un error al rechazar que la pendiente de la variable "Temperatura mínima" es igual a cero, por lo que se acepta que esa variable forma parte del modelo con una pendiente (B= -44.158,494).

El segundo modelo (modelo de regresión lineal múltiple) se construyó en dos pasos, primero entró la Temperatura mínima y luego entró la siguiente variable que rechazase la Hipótesis nula, (las variables que rechazan la hipótesis nula son las que presentan una pendiente estadísticamente significativa y su probabilidad de cometer el error de rechazar H_0 es $\leq 0,05$, para un nivel de confianza del 95 %), esta variable fue la “velocidad de viento diurna”, por presentar un valor de Sig = 0,015, el resto de las variables como se observa en la Tabla 550 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig $>0,05$, en el segundo paso.

Tabla 549. Modelos de regresión del Edificio E8

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B		
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	381573,782	36199,641	10,541	,000	303933,275	459214,290
	T_min	-44158,494	8822,708	-5,005	,000	-63081,320	-25235,668
2	(Constante)	88655,039	87752,034	1,010	,331	-100921,704	278231,783
	T_min	-37820,664	6807,193	-5,556	,000	-52526,711	-23114,617
	V_viento_diurna_m/s	99081,056	28250,440	3,507	,004	38049,690	160112,422

En la Figura 337 se representa el modelo 1 de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

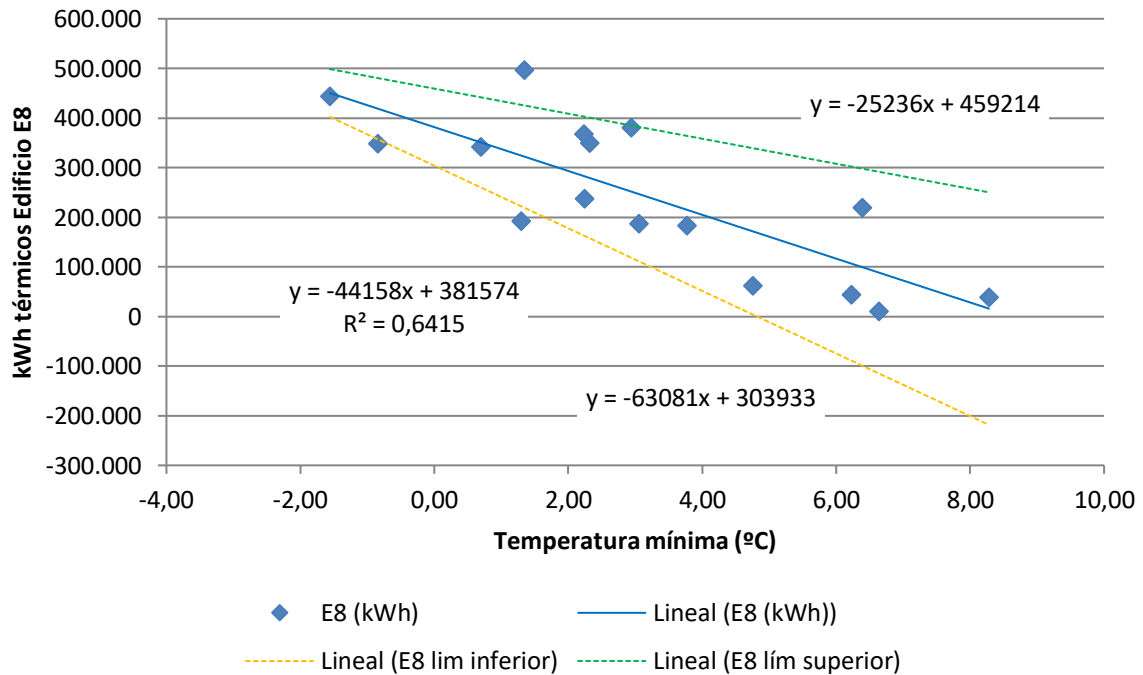


Figura 337. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E8

En la Figura 338 se representa el modelo 2 de regresión lineal múltiple para el edificio E8

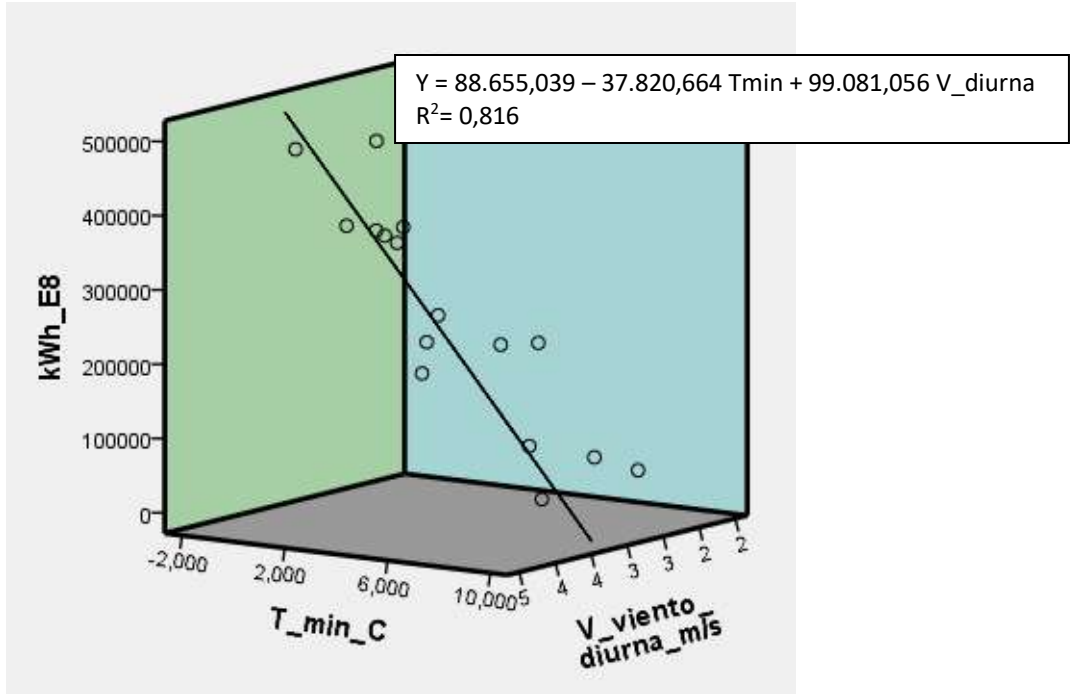


Figura 338. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio E8

Los valores de la columna t se obtienen dividiendo el valor de los coeficientes no estandarizados entre sus errores típicos, este estadístico tiende a ser mayor en valor absoluto cuando la hipótesis alternativa es verdadera, es decir cuando la variable posee una pendiente significativa en el modelo de regresión.

En las Tabla 549 y Tabla 550, el estadístico t y su nivel crítico (Sig), permiten contrastar la hipótesis nula consistente en que el coeficiente de regresión vale cero en el modelo; a mayor valor de t, mayor peso en el modelo.

El valor “Sig” corresponde a los valores de probabilidad de los valores de t, es la probabilidad de obtener el valor de t si la hipótesis nula fuera cierta, cuando son $\leq 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las pendientes son distintas de cero, luego si $Sig > 0,05$ se acepta la hipótesis nula de que la pendiente de la variable independiente en el modelo de regresión es igual a cero, no cumpliendo el criterio de entrada en el modelo.

La correlación parcial, que aparece en la Tabla 550 estudia la relación existente entre dos variables cuantitativas cuando se controla o elimina el efecto de terceras variables, en el modelo de regresión lineal, a mayor valor absoluto, mayor relación entre la variable dependiente y la independiente.

Tabla 550. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E8

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	,070	,945	,019
	GD20_30min	,121	,905	,034
	GD15_24h	,204	,842	,056
	GD20_24h	,178	,861	,049
	T_med	-,514	,616	-,141
	T_media_diurna	-,523	,610	-,144
	T_max	-,464	,650	-,128
	HR_%	,042	,967	,012
	HR_med_diurna_%	,201	,844	,056
1	HR_max_%	-,457	,655	-,126
	HR_min_%	,068	,947	,019
	V_Viento_m/s	3,471	,004	,694
	V_viento_diurna_m/s	3,507	,004	,697
	V_viento_nocturna_m/s	3,326	,005	,678
	V_viento_max_m/s	3,432	,004	,689
	Recorrido_viento_km/día	3,484	,004	,695
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,981	,345	,262
	Horas insolación_h	-,194	,849	-,054
	Radiación_W/m2	-,259	,800	-,072
	GD15_30min	,787	,447	,222
	GD20_30min	,736	,476	,208
	GD15_24h	,800	,439	,225
	GD20_24h	,780	,450	,220
	T_med	-,717	,487	-,203
	T_media_diurna	-,688	,504	-,195
	T_max	-,369	,718	-,106
	HR_%	1,012	,332	,280
	HR_med_diurna_%	,984	,345	,273
2	HR_max_%	,989	,342	,275
	HR_min_%	,713	,489	,202
	V_Viento_m/s	,036	,972	,010
	V_viento_nocturna_m/s	,142	,889	,041
	V_viento_max_m/s	,001	,999	,000
	Recorrido_viento_km/día	,096	,925	,028
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,269	,793	,077
	Horas insolación_h	-1,410	,184	-,377
	Radiación_W/m2	-1,299	,218	-,351

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio E8, se resumen en la Tabla 551

Tabla 551. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio E8

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,801	,641	,616	94500,0444
2	-,903	,816	,787	70295,8236

Se observa como el modelo 1 de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) inferior en valor absoluto al modelo 2 de regresión lineal múltiple, este coeficiente indica que las variables de los modelos están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce en ambos modelos es inversa, al aumentar el valor de las variables independientes disminuye el valor de la variable dependiente que es el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo 1 se podría explicar el 64,1% de los datos reales obtenidos y el modelo 2, el porcentaje de aciertos o de explicación asciende al 81,6%, ambos aceptando un error del 5%.

El coeficiente de determinación corregido (R^2 corregido) que tiene en cuenta el número de variables independientes incluidas en el modelo y el tamaño de la muestra, reduce el coeficiente de determinación al 61,6% en el modelo 1 y al 78,7 % en el modelo 2.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 94.500 kWh para el modelo 1 y de 70.296 kWh para el modelo 2, lo que representa un 38,7% del promedio de los consumos que fue de 244.296 kWh para el modelo 1 y del 28,8% para el modelo 2. Por tanto aunque el modelo 2 es más preciso, también es aceptado el modelo 1 para la representación de la línea base de los consumos térmicos del edificio E8.

AV.8.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 549, la pendiente (B), para el modelo 1, obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E8) y la independiente (Temperatura mínima). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura mínima.

Para el modelo 2, según la misma Tabla 549, las pendientes de las dos variables introducidas en el modelo obtuvieron unos valores de Sig = 0,000 para la Temperatura mínima y de 0,004 para la Velocidad del viento diurna, ambos $\leq 0,05$, lo que nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E8) y las independientes (Temperatura mínima y velocidad del viento diurna). Al ser el valor de la primera pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media y de la segunda pendiente positiva, indica relación directa entre el consumo y la velocidad del viento diurna.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de las variables independientes (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal, luego si la probabilidad del estadístico del test es \leq al nivel de significación 0,05, la hipótesis nula es rechazada y sólo aceptaremos que las variables se distribuyen según una Normal cuando el valor de la significación sea mayor que 0,05 (valor de la significación $> 0,05$) en el Test de Shapiro Wilk.

La Tabla 552, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio E8), como las variables independientes: Temperatura media y velocidad de viento nocturna poseen una Sig $> 0,05$, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 552. Prueba de normalidad para el edificio E8

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E8	,178	16	,190	,939	16	,335
T_min	,133	16	,200	,968	16	,813
V_viento_nocturna_m/s	,156	16	,200	,948	16	,453

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es:

- para el modelo 1 de 1,477 (Regresión lineal simple)
- para el modelo 2 de 2,059 (Regresión lineal múltiple)

En el modelo 1, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3, el valor dU = 1,371, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629], como el valor del estadístico 1,477 está dentro del intervalo, se acepta la ausencia de autocorrelación

En el modelo 2, n = 16 y k = 2, según la Tabla 3, el valor dU = 1,539 y dL = 0,982, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,539, 2,461].

Los intervalos [0, 0,982] y [3,018, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [0,982, 1,539] y [2,461, 3,018] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 2,059 está dentro del intervalo de ausencia de autocorrelación, se acepta que los residuos no están correlacionados.

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la(s) variable(s) independiente(s) (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que el error es una variable aleatoria que tomará un valor distinto cada vez que se ejecute el modelo y que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos.

La forma de comprobar la homocedasticidad es verificando si el coeficiente de determinación R^2 , que indica la proporción de la variable dependiente (Y o consumo del edificio) que puede ser explicada por la variación de las variables independientes (las variables climatológicas), en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variables independientes es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios.

Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas. Para el modelo 1. Regresión lineal simple, las Figura 339 y Figura 340, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación $= -2,22 \times 10^{-16}$ y entre la variable independiente (Temperatura mínima) y los residuos un coeficiente de determinación de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

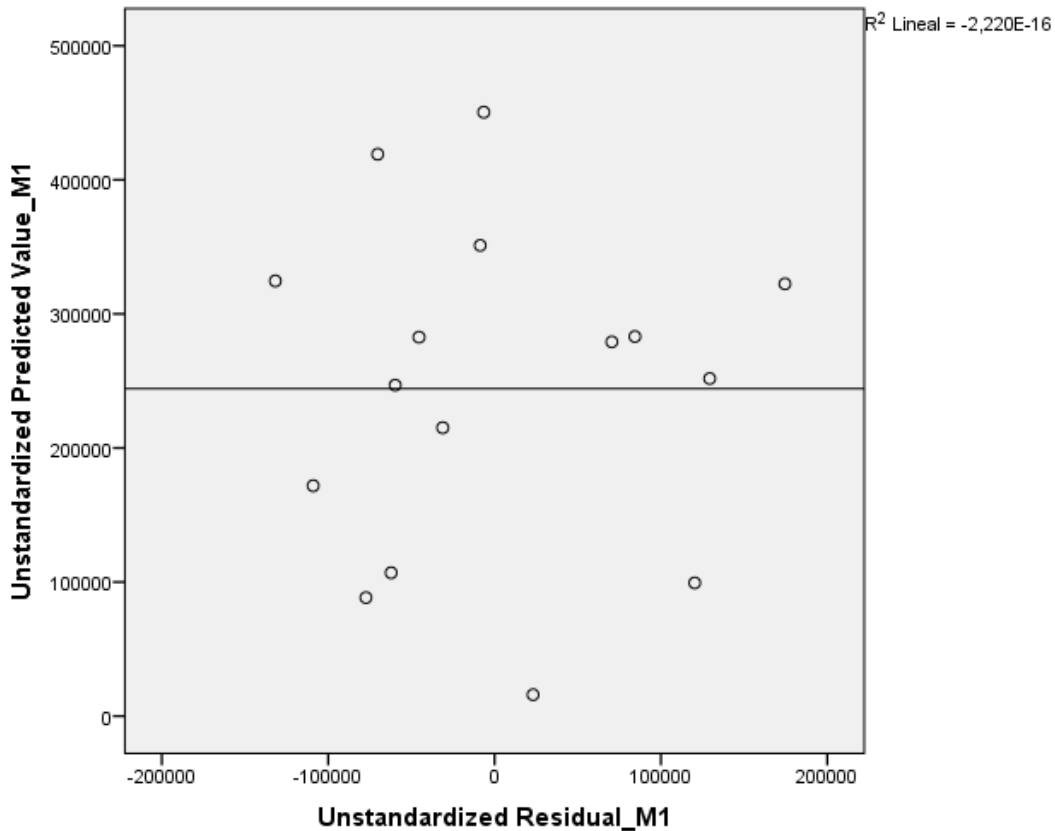


Figura 339. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E8. Modelo 1

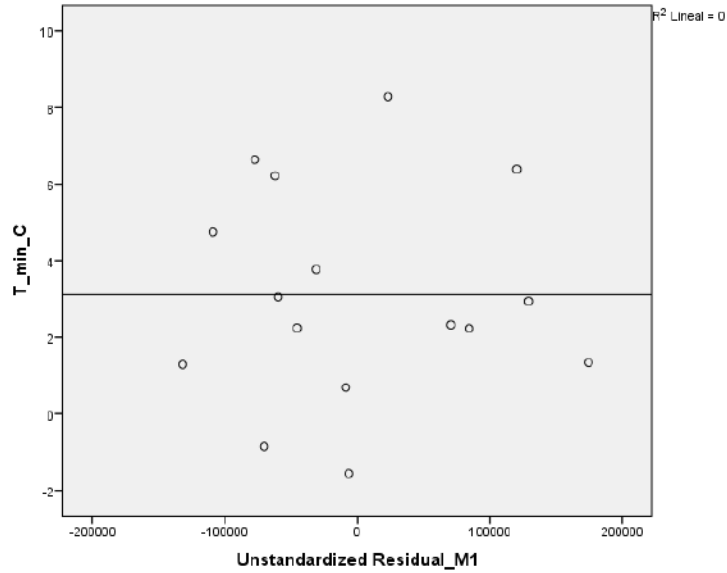


Figura 340. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E8. Modelo 1

Para el modelo 2. Regresión lineal múltiple, las Figura 341, Figura 342 y Figura 343, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = $-2,22 \times 10^{-16}$, entre la variable independiente (Temperatura mínima) y los residuos un coeficiente de determinación, también de 0 y entre la variable independiente (velocidad del viento diurna) y los residuos de 0,452, por lo que se concluye que existe una pequeña correlación en los residuos y la velocidad del viento diurna, lo que hace que el Modelo 2 sea descartado.

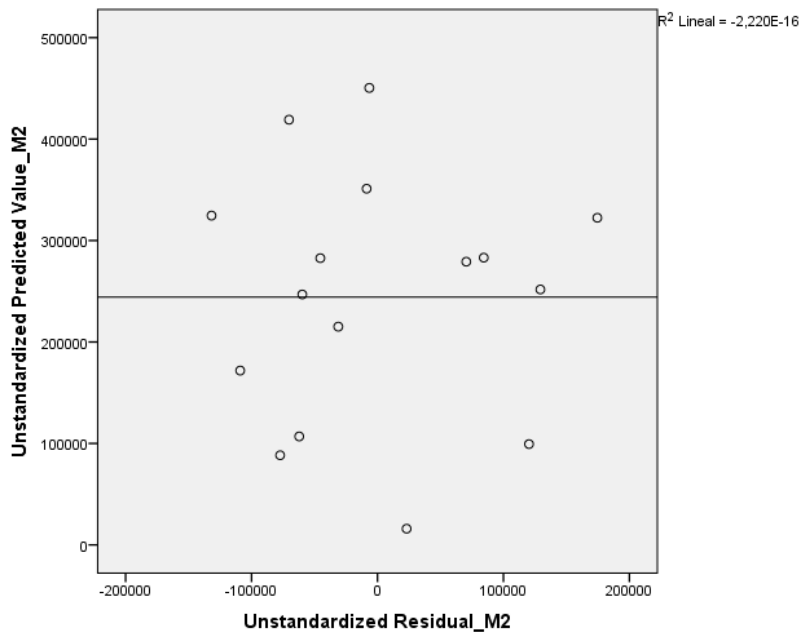


Figura 341. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E8. Modelo 2

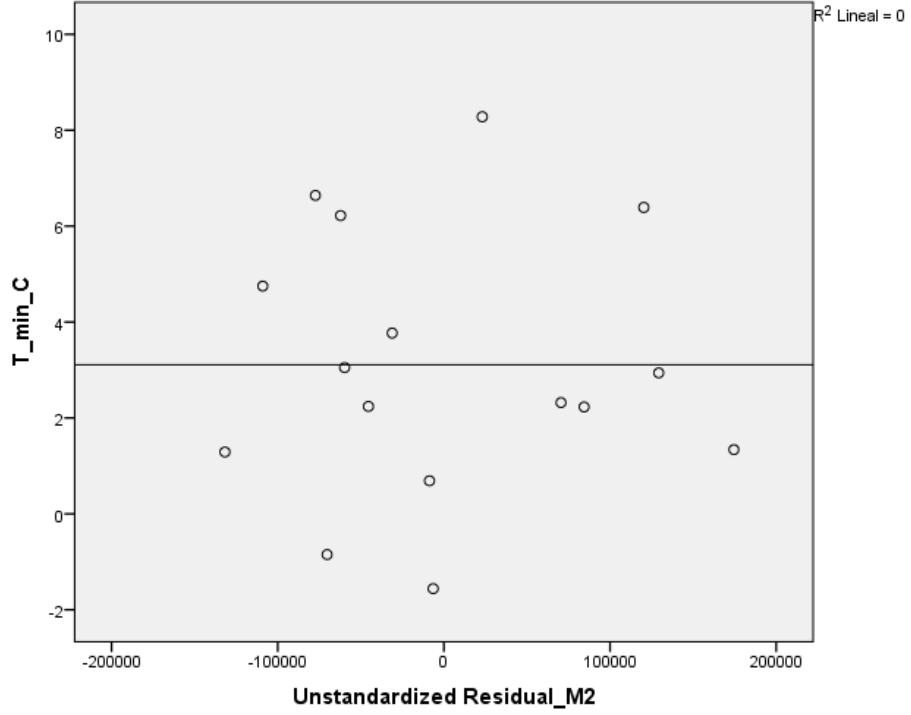


Figura 342. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E8. Modelo 2

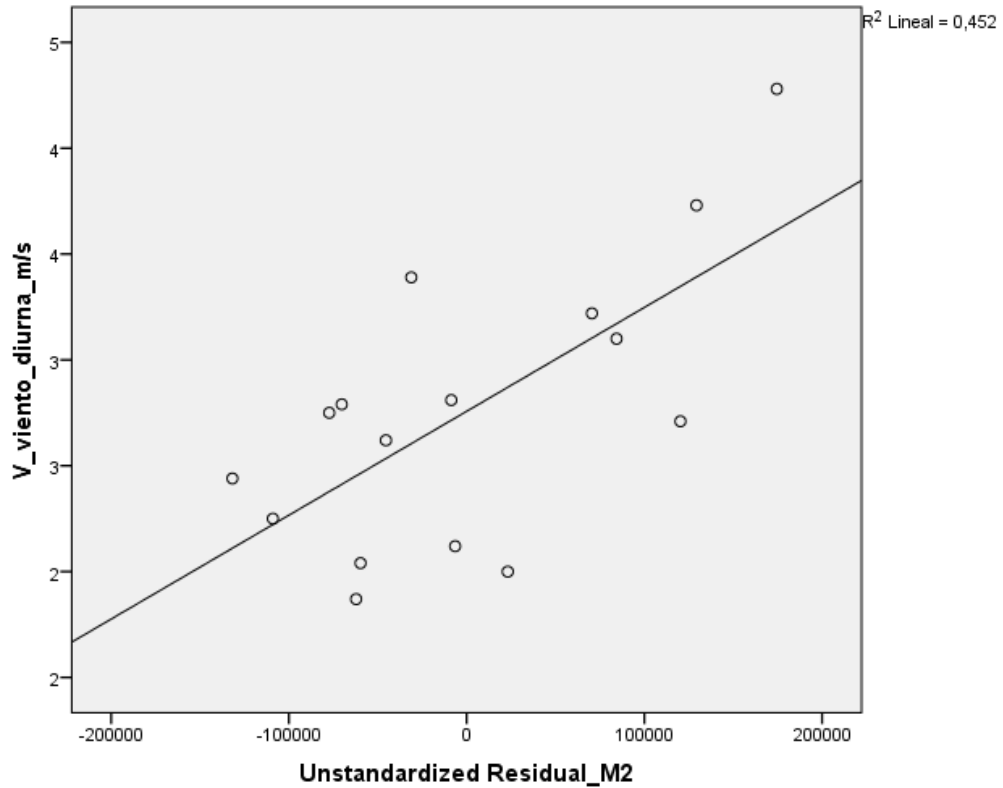


Figura 343. Relación entre la velocidad del viento nocturna y los residuos. Edificio E8. Modelo 2

- Cuando la regresión es lineal múltiple, se comprueba la falta de multicolinealidad o No-Colinealidad entre las variables independientes, es decir que las variables que forman parte del modelo no están correlacionadas entre ellas.

El problema de la multicolinealidad es moderado cuando el índice de condición toma un valor entre 20 y 30 y es grave cuando el índice de condición toma un valor superior a 30. El número de condición mide la sensibilidad de las estimaciones mínimo-cuadráticas ante pequeños cambios en los datos a mayor valor más correlación entre las variables.

La Tabla 553, muestra los índices de condición de las variables del modelo de regresión múltiple, ninguno de ellos supera el valor 20, por lo que no existen evidencias de correlación entre las variables independientes del modelo

Tabla 553. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio E8

Modelo	Dimensión	Índice de condición
2	1	1,000
	2	2,732
	3	10,866

En cuanto a los índices estadísticos de colinealidad como son los niveles Tolerancia y su inverso que son los Factores de Inflación de la Varianza (FIV). El nivel de tolerancia se obtiene restando a 1 el coeficiente de determinación (R^2). Como se observa en la Figura 344, el coeficiente de determinación entre las dos variables independientes es $R^2 = 0,070$, luego la Tolerancia es $T = 1 - R^2 = 1 - 0,070 = 0,930$ y $FIV = 1/T = 1,076$

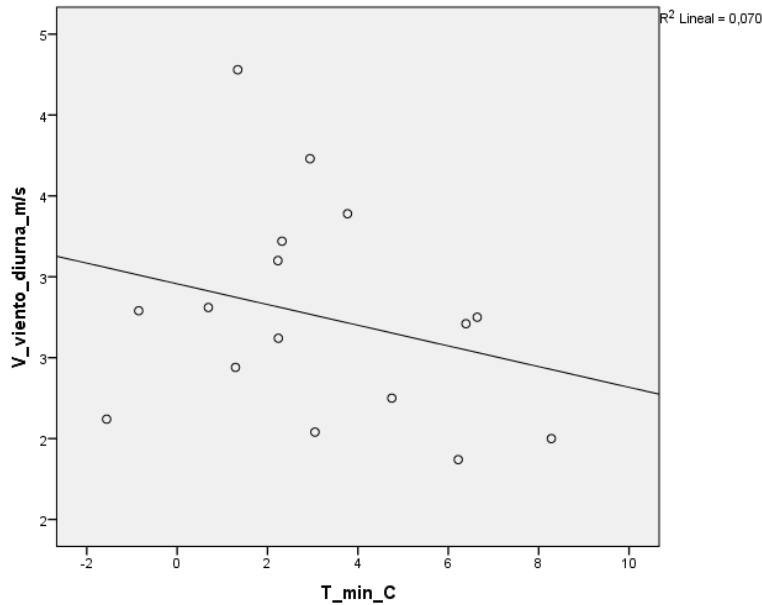


Figura 344. Gráfico de la temperatura mínima y la velocidad del viento diurna.

Si la Tolerancia toma un valor próximo a la unidad no existirá colinealidad (a mayor tolerancia menor colinealidad), por lo que se podrá deducir que no existe multicolinealidad entre las variables independientes. Pueden existir problemas de colinealidad si algún FIV es superior a 10, que corresponde con un R^2 de 0,9 y una Tolerancia menor a 0,1

La Tabla 554, muestra los estadísticos de colinealidad y se observa como la Tolerancia toma valores de 0,930, próxima a 1 y los valores de FIV permanecen por debajo de 10, por lo que no existen problemas de colinealidad entre la temperatura mínima y la velocidad del viento diurna.

Tabla 554. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio E8

Modelo		Tolerancia	FIV
1	T_min	1,000	1,000
2	T_min	,930	1,076
	V_viento_diurna_m/s	,930	1,076

AV.8.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se aceptan los modelos de línea base encontrados para modelizar el consumo del Edificio E8.

Modelo 1: $kWh_{E8} = 381.573,782 - 44.158,494 \times T_{min}$

Modelo 2: $kWh_{E8} = 88.655,039 - 37.820,664 \times T_{min} + 99.081,056 \times V_{viento_diurna}$

Con estos modelos se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 555, donde “kWh_E8”, representa el consumo real, “kWh_E8_M1”, el consumo pronosticado con el Modelo 1 y “kWh_E8_M2”, el consumo pronosticado con el Modelo 2.

El modelo 2, ha sido descartado por presentar una cierta correlación los residuos con la velocidad de viento diurna

Tabla 555. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E8.

	T_mínima	V_viento_nocturna	kWh_E8	kWh_E8_M1	kWh_E8_M2	kWh_E8_M1 - kWh_E8_M2
oct-15	7,50	1,72	52.860	50.385	-24.293	74.678
nov-15	4,16	1,25	288.652	198.036	54.816	143.221
dic-15	1,20	0,97	212.113	328.455	139.621	188.835
ene-16	2,63	2,53	274.832	265.636	240.416	25.220
feb-16	1,30	3,30	452.764	324.259	366.841	-42.582
mar-16	0,20	2,66	316.817	372.899	344.397	28.502
abr-16	3,83	2,67	266.496	212.432	208.237	4.195
may-16	6,63	2,13	56.485	88.874	48.944	39.930
oct-16	7,14	1,08	70.515	66.356	-74.729	141.085
nov-16	2,23	1,61	337.657	283.189	163.581	119.608
dic-16	0,57	0,99	303.434	356.489	165.740	190.749
ene-17	-2,83	1,31	440.599	506.443	325.590	180.853
feb-17	2,19	2,79	347.129	284.898	282.149	2.749
mar-17	2,59	2,69	295.002	267.331	257.050	10.282
abr-17	3,83	2,53	114.519	212.520	194.243	18.278
may-17	9,02	2,07	29.943	-16.836	-47.091	30.256
oct-17	6,71	1,50	29.261	85.470	-16.809	102.278
nov-17	-0,28	1,42	240.790	393.923	239.894	154.029
dic-17	-0,44	2,28	316.883	400.833	331.470	69.363
ene-18	0,66	2,23	335.954	352.614	284.515	68.099
feb-18	-1,96	2,42	399.029	467.919	401.959	65.960
mar-18	2,74	4,38	351.334	260.594	418.758	-158.164
abr-18	5,73	2,77	153.387	128.619	146.526	-17.907
may-18	7,82	2,00	38.661	36.140	-9.166	45.306

Los datos pronosticados que han resultado ser negativos serán anulados de los modelos, por representar valores imposibles. En la mayoría de los meses los consumos pronosticados con el modelo 1, son superiores a los pronosticados con el Modelo 2.

AV.8.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando el contraste de hipótesis para la comparación de medias para muestras relacionadas, es decir la prueba paramétrica “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas. En caso contrario no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyendo que las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas y no van más allá de lo que sería esperable por azar, todo ello con la aceptación de un riesgo de error del 5%, o lo que es lo mismo un nivel de confianza del 95%.

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 556 y Tabla 557

Tabla 556. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8. Modelo 1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,203	8	,200	,915	8	,394
kWh_pronost_M1	,167	8	,200	,934	8	,558

Tabla 557. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8. Modelo 2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real sin oct 2015	,213	7	,200	,936	7	,601
kWh_pronost_M2	,159	7	,200	,919	7	,465

En la Tabla 558, se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E8; un 4,2% inferior con la estimación del Modelo 1 y un 24,9 % superior con la estimación del Modelo 2. En el Modelo 2, la observación de octubre de 2015, ha sido eliminada por haber sido pronosticado un valor negativo.

Tabla 558. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8

		Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	kWh_real	240127,3750		8	133592,33528	47232,02310
	kWh_pronost_M1	230122,0000	-4,2%	8	115743,86979	40921,63760
Par 2	kWh_real	266879,8571		7	118918,35258	44946,91246
	kWh_pronost_M2	200467,4286	-24,9 %	7	127755,05034	48286,87028

La Tabla 559 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ni con el Modelo 1, ni con el Modelo 2 (sig > 0,5).

Tabla 559. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	10005,375	79881,378	28242,332	-56777,128	76787,878	,354	7	,734
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	66412,429	83505,436	31562,088	-10817,219	143642,076	2,104	6	,080

En la Figura 345, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio E8, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada son estadísticamente significativas con el Modelo 1 y no lo son con el Modelo 2, para un nivel de confianza del 95 %.

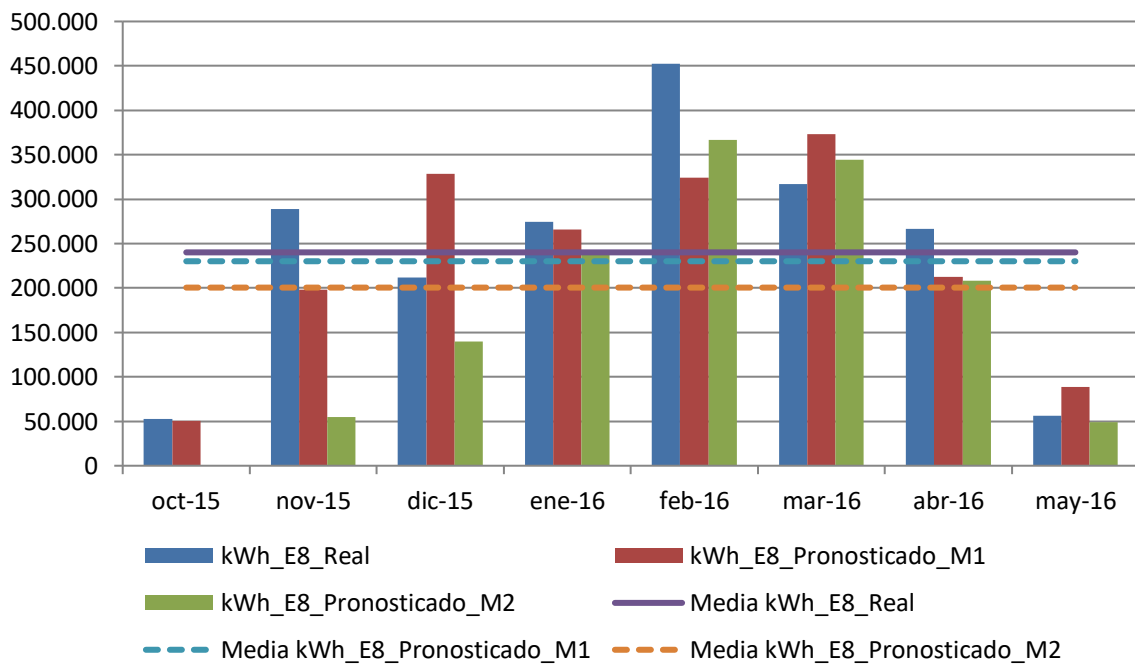


Figura 345. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 560. El valor negativo del pronóstico de mayo de 2017, obtenido con el Modelo 2, se ha anulado de la prueba.

Tabla 560. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E8

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real sin mayo 2017	,281	7	,100	,896	7	,306
kWh_pronost_M1	,207	7	,200	,955	7	,772
kWh_real (sin octubre 2016 ni mayo 2017)	,291	6	,122	,897	6	,357
kWh_pronost_M2	,211	6	,200	,905	6	,406

En la Tabla 561, se observa como las medias de los consumos pronosticados con el Modelo 1, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E8, en un 3,6% y las medias de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E8, un 24,5%.

Tabla 561. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E8

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 kWh_real	272693,5714		7	132470,82871	50069,26696
kWh_pronost_M1	282460,8571	3,6%	7	133838,57283	50586,22565
Par 2 kWh_real	306390,0000		6	107333,36127	43818,66125
kWh_pronost_M2	231392,1667	-24,5%	6	66927,47454	27323,02707

La Tabla 562, muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1, ni con el Modelo 2 (sig > 0,05)

Tabla 562. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E8

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-9767,2861	62861,096	23759,261	-67904,103	48369,531	-,411	6	,695
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	74997,833	90288,186	36859,997	-19753,807	169749,473	2,035	5	,098

En la Figura 346, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E8, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada no son estadísticamente significativas las diferencias encontradas entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1, ni por el modelo 2, para un nivel de confianza del 95 %.

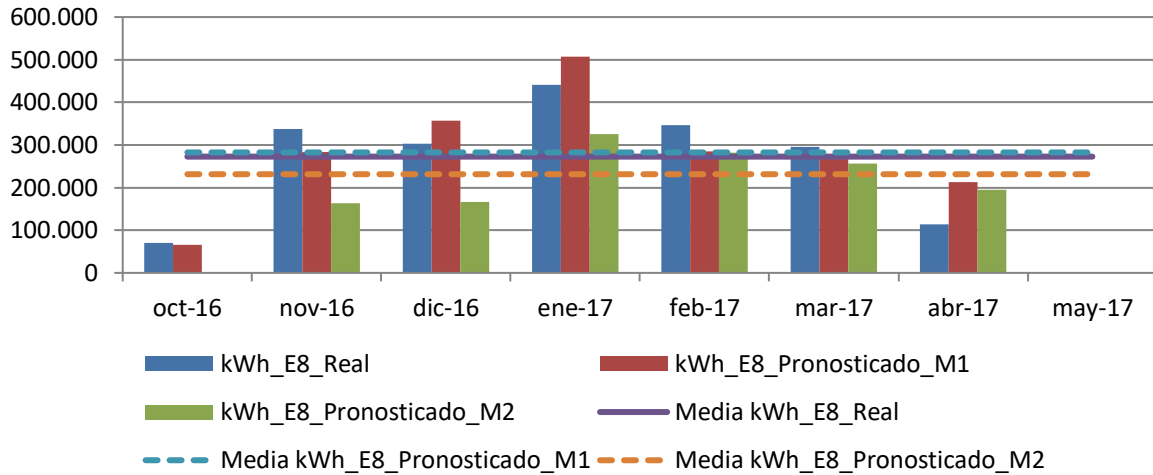


Figura 346. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E8

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 563

Tabla 563. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E8

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,220	8	,200	,889	8	,229
kWh_pronost_M1	,202	8	,200	,910	8	,353
kWh_real sin octubre 2017, ni mayo 2018	,244	6	,200	,932	6	,592
kWh_pronost_M2	,163	6	,200	,956	6	,788

En la Tabla 564 se observa como las medias tanto de los consumos pronosticados con el Modelo 1, como de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E8, un 14,0 % superior con la estimación del Modelo 1 y un 1,4 % superior con la estimación del Modelo 2

Tabla 564. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E8

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 kWh_real	233162,3750		8	143865,20387	50864,03062
kWh_pronost_M1	265764,0000	14%	8	163509,07284	57809,18709
Par 2 kWh_real	299562,8333		6	88339,90874	36064,61672
kWh_pronost_M2	303853,6667	1,4%	6	102768,81025	41955,19110

La Tabla 565 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1, ni con el Modelo 2 (sig > 0,05).

Tabla 565. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E8

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-32601,625	74671,458	26400,347	-95028,526	29825,276	-1,235	7	,257
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	-4290,833	38342,511	15653,264	-44528,830	35947,164	-,274	5	,795

En la Figura 347 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E8, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada no son estadísticamente significativas las diferencias encontradas entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 1, ni por el modelo 2, para un nivel de confianza del 95 %.

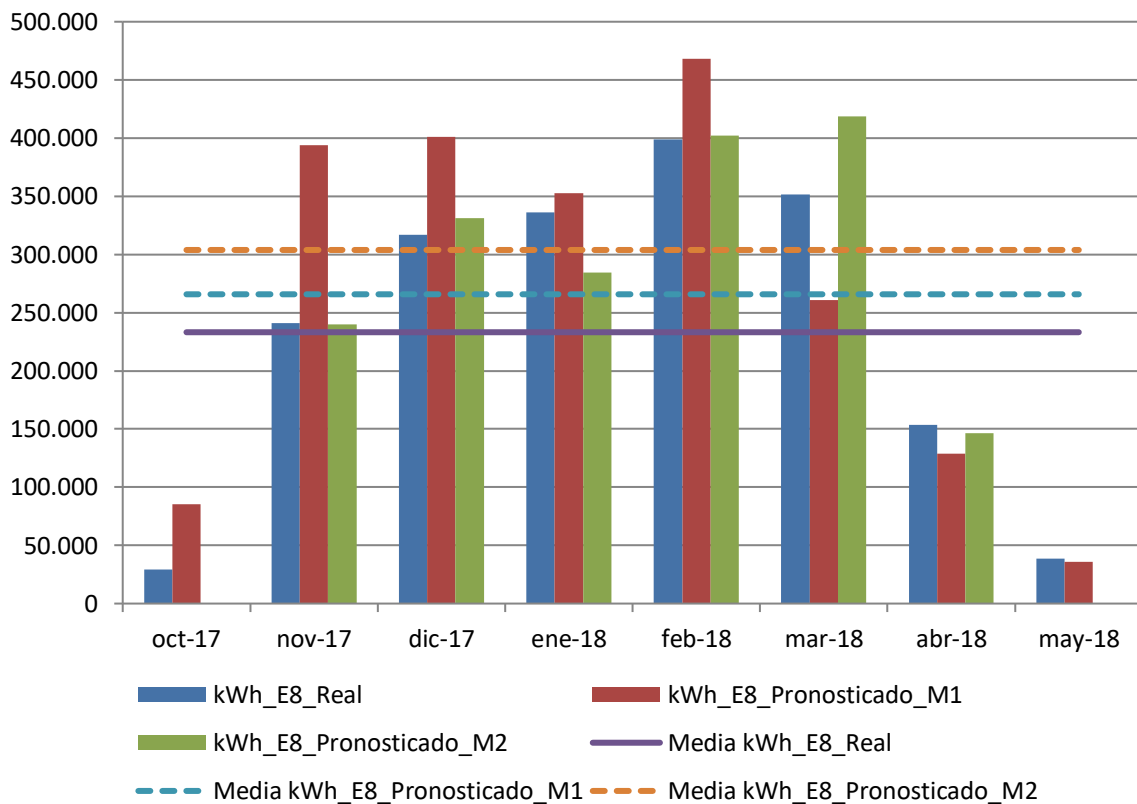


Figura 347. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E8

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, los valores reales como los pronosticados con el Modelo M1 y con el Modelo 2 se distribuyen según una Normal puesto que los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 566

Tabla 566. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real (sin mayo 2017)	,166	23	,102	,917	23	,057
kWh_pronost_M1	,115	23	,200	,960	23	,463
kWh_real (sin octubre 2015, octubre 2016, mayo 2017, mayo 2018)	,165	20	,158	,935	20	,189
kWh_pronost_M2	,088	20	,200	,973	20	,826

En la Tabla 567, se observa como las medias de los consumos pronosticados con el Modelo 1, son superiores a las medias de los consumidor reales del Edificio E8, en un 4,4%, y las medias de los consumos pronosticados con el Modelo 2, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E8, un 16,9 %

Tabla 567. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 kWh_real	247616,2174		23	131705,93478	27462,58582
kWh_pronost_M1	258448,4348	4,4%	23	134719,07028	28090,86800
Par 2 kWh_real	276656,8500		20	115119,54804	25741,51350
kWh_pronost_M2	229896,9000	-16,9%	20	119844,01835	26797,93717

La Tabla 568 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 2 (sig ≤ 0,05); pero no con el Modelo 1 (sig > 0,05), para un nivel de confianza del 95 %. Pero el Modelo 2 fue descartado por presentar una cierta correlación entre los residuos y la variables independiente velocidad del viento diurna, por lo que se concluye que no se han encontrado diferencias significativas entre los consumos reales y los pronosticados.

Tabla 568. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronost_M1	-10832,217	72199,210	15054,576	-42053,497	20389,062	-,720	22	,479
Par 2	kWh_real - kWh_pronost_M2	46759,950	77144,720	17250,084	10655,110	82864,790	2,711	19	,014

AV.8.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 569, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y considerando que no se han encontrado diferencias significativas, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 569. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E8.

	kWh_E8 Gas Natural	kWh_E8 Biomasa	kWh_E8 Real Total	kWh_E8_ M2 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	52.860	52.860	52.860	0	1.269	1.269	13.321	12.052	12.052
nov-2015	0	288.652	288.652	288.652	0	6.928	6.928	72.740	65.813	77.865
dic-2015	0	212.113	212.113	212.113	0	5.091	5.091	53.452	48.362	126.227
ene-2016	0	274.832	274.832	274.832	0	6.596	6.596	69.258	62.662	188.888
feb-2016	69.449	383.315	452.764	452.764	17.501	9.200	26.701	114.097	87.396	276.284
mar-2016	6.275	310.542	316.817	316.817	1.581	7.453	9.034	79.838	70.804	347.088
abr-2016	528	265.968	266.496	266.496	133	6.383	6.516	67.157	60.641	407.728
may-2016	0	56.485	56.485	56.485	0	1.356	1.356	14.234	12.879	420.607
oct-2016	14.513	56.002	70.515	70.515	3.657	1.344	5.001	17.770	12.768	433.375
nov-2016	4.184	333.473	337.657	337.657	1.054	8.003	9.058	85.090	76.032	509.407
dic-2016	424	303.010	303.434	303.434	107	7.272	7.379	76.465	69.086	578.493
ene-2017	3.744	436.855	440.599	440.599	944	10.485	11.428	111.031	99.603	678.096
feb-2017	3.304	343.825	347.129	347.129	833	8.252	9.084	87.477	78.392	756.488
mar-2017	1.128	293.874	295.002	295.002	284	7.053	7.337	74.341	67.003	823.492
abr-2017	464	114.055	114.519	114.519	117	2.737	2.854	28.859	26.005	849.496
may-2017	224	29.719	0	0	56	713	770	0	-770	848.727
oct-2017	1.808	27.453	29.261	29.261	456	659	1.115	7.374	6.259	854.986
nov-2017	1.968	238.822	240.790	240.790	496	5.732	6.228	60.679	54.451	909.437
dic-2017	2.056	314.827	316.883	316.883	518	7.556	8.074	79.855	71.781	981.218
ene-2018	2.944	333.010	335.954	335.954	742	7.992	8.734	84.660	75.926	1.057.144
feb-2018	944	398.085	399.029	399.029	238	9.554	9.792	100.555	90.763	1.147.908
mar-2018	1.464	349.870	351.334	351.334	369	8.397	8.766	88.536	79.770	1.227.678
abr-2018	280	153.107	153.387	153.387	71	3.675	3.745	38.654	34.908	1.262.586
may-2018	0	38.661	38.661	38.661	0	928	928	9.743	8.815	1.271.401

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 1.271 Toneladas de CO₂, debido al cambio del tipo de energía consumida.

AV.8.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 570 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 571, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 570. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,003202			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02778			

Tabla 571. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E8

	kWh_E8_Gas Natural	kWh_E8_Biomasa	kWh_E8	kWh_E8_M2	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	52.860	52.860	52.860	0	1.468	1.468	1.972	503	503
nov-2015	0	288.652	288.652	288.652	0	8.019	8.019	10.767	2.748	3.251
dic-2015	0	212.113	212.113	212.113	0	5.892	5.892	7.912	2.019	5.271
ene-2016	0	274.832	274.832	274.832	0	7.635	7.635	8.410	775	6.046
feb-2016	69.449	383.315	452.764	452.764	2.125	10.648	12.774	13.855	1.081	7.126
mar-2016	6.275	310.542	316.817	316.817	192	8.627	8.819	9.695	876	8.002
abr-2016	528	265.968	266.496	266.496	16	7.389	7.405	8.155	750	8.752
may-2016	0	56.485	56.485	56.485	0	1.569	1.569	1.728	159	8.912
oct-2016	14.513	56.002	70.515	70.515	444	1.556	2.000	2.158	158	9.069
nov-2016	4.184	333.473	337.657	337.657	128	9.264	9.392	10.332	940	10.010
dic-2016	424	303.010	303.434	303.434	13	8.418	8.431	9.285	854	10.864
ene-2017	3.744	436.855	440.599	440.599	118	12.136	12.253	13.835	1.581	12.446
feb-2017	3.304	343.825	347.129	347.129	104	9.551	9.655	10.900	1.245	13.690
mar-2017	1.128	293.874	295.002	295.002	35	8.164	8.199	9.263	1.064	14.754
abr-2017	464	114.055	114.519	114.519	15	3.168	3.183	3.596	413	15.167
may-2017	224	29.719	0	0	7	826	833	0	-833	14.334
oct-2017	1.808	27.453	29.261	29.261	57	763	819	919	99	14.434
nov-2017	1.968	238.822	240.790	240.790	62	6.634	6.696	7.561	865	15.298
dic-2017	2.056	314.827	316.883	316.883	65	8.746	8.810	9.950	1.140	16.438
ene-2018	2.944	333.010	335.954	335.954	99	9.251	9.350	11.288	1.938	18.376
feb-2018	944	398.085	399.029	399.029	32	11.059	11.091	13.407	2.317	20.693
mar-2018	1.464	349.870	351.334	351.334	49	9.719	9.769	11.805	2.036	22.729
abr-2018	280	153.107	153.387	153.387	9	4.253	4.263	5.154	891	23.620
may-2018	0	38.661	38.661	38.661	0	1.074	1.074	1.299	225	23.845
€ Total							159.399	183.244		
Ahorro (%)										15,0%

AV.9. Edificio E13. Facultad de Económicas.

AV.9.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 572

Tabla 572. Consumos térmicos del edificio E13

Consumos térmicos (kWh). E13	
oct-12	26.441
nov-12	233.547
dic-12	246.803
ene-13	231.986
feb-13	231.133
mar-13	192.983
abr-13	106.846
may-13	53.047
oct-13	22
nov-13	143.684
dic-13	273.337
ene-14	336.166
feb-14	259.725
mar-14	148.360
abr-14	86.292
may-14	13.279
Promedio	161.478
Total (oct-12-may-13)	1.322.786
Total (oct-13-may-14)	1.260.865
Total (oct-12-may-13)	2.583.651

Como se puede ver en la Tabla 573 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Temperatura máxima). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo la T_max, por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 574 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 573. Modelos de regresión del Edificio E13

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	461136,517	35607,692	12,950	,000	384765,613	537507,420
T_max	-21706,507	2463,567	-8,811	,000	-26990,334	-16422,680

En la Figura 348 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

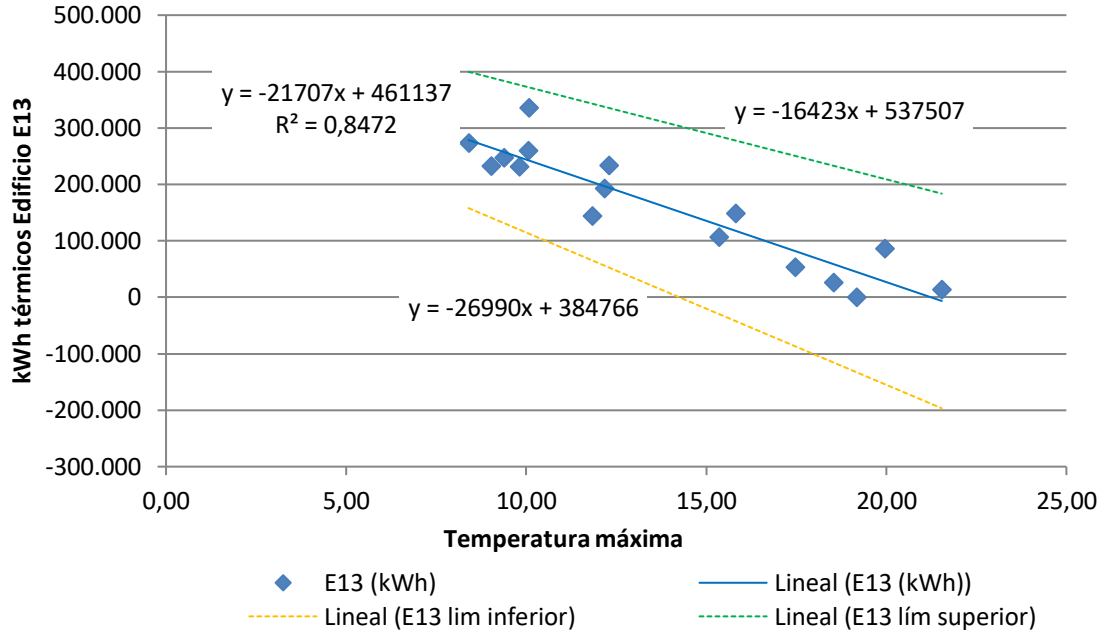


Figura 348. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E13

Tabla 574. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E13

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,019	,985	-,005
	GD20_30min	,012	,990	,003
	GD15_24h	-,202	,843	-,056
	GD20_24h	-,106	,918	-,029
	T_med_C	,194	,849	,054
	T_media_diurna_C	,277	,786	,077
	T_min_C	-,100	,922	-,028
	HR_%	-,599	,559	-,164
	HR_med_diurna_%	-,379	,711	-,105
1	HR_max_%	-,808	,434	-,219
	HR_min_%	-,300	,769	-,083
	V_Viento_m/s	1,254	,232	,329
	V_viento_diurna_m/s	1,174	,261	,310
	V_viento_nocturna_m/s	1,358	,198	,352
	V_viento_max_m/s	1,088	,296	,289
	Recorrido_viento_km/día	1,260	,230	,330
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,027	,979	-,008
	Horas insolación_h	-,230	,822	-,064
	Radiación_W/m2	,487	,634	,134

La bondad del modelo de regresión obtenido para el edificio E13, se resumen en la Tabla 575

Tabla 575. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E13

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,920	,847	,836	42191,6259

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,920, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es inversa, al aumentar el valor de la Temperatura máxima, disminuye el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 84,7% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 42.192 kWh, lo que representa un 26,1% del promedio de los consumos que fue de 161.478 kWh.

AV.9.2. Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 573, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E13) y la independiente (T_{max}). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura máxima.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal.

La Tabla 576, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: T_max poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 576. Prueba de normalidad para el edificio E13

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E13	,185	16	,144	,941	16	,365
T_max	,196	16	,103	,902	16	,087

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,233.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629]

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,233 está dentro del primer intervalo no concluyente, se comprueba la correlación, mediante el gráfico de residuos y tiempo.

La Figura 349, muestra que la relación entre los residuos y el tiempo, posee un coeficiente de determinación = 0,179, bajo, aunque no nulo; por lo que se concluye que existe una baja autocorrelación en los residuos.

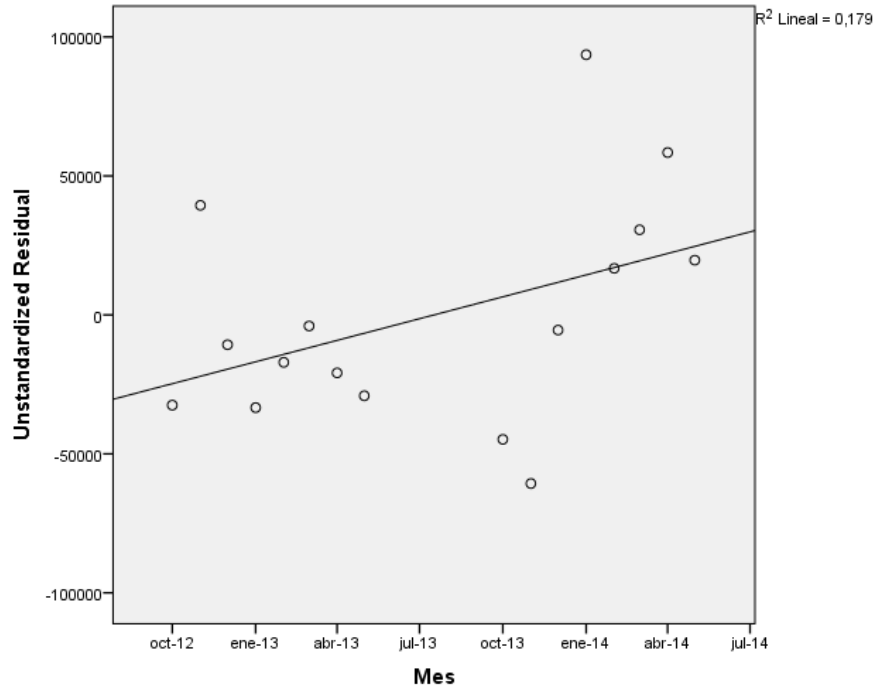


Figura 349. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio E13

- **Homocedasticidad de la varianza.** Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 350 y Figura 351, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación $= -2,22 \times 10^{-16}$ y entre la variable independiente (T_{max}) y los residuos un coeficiente de determinación de 0; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

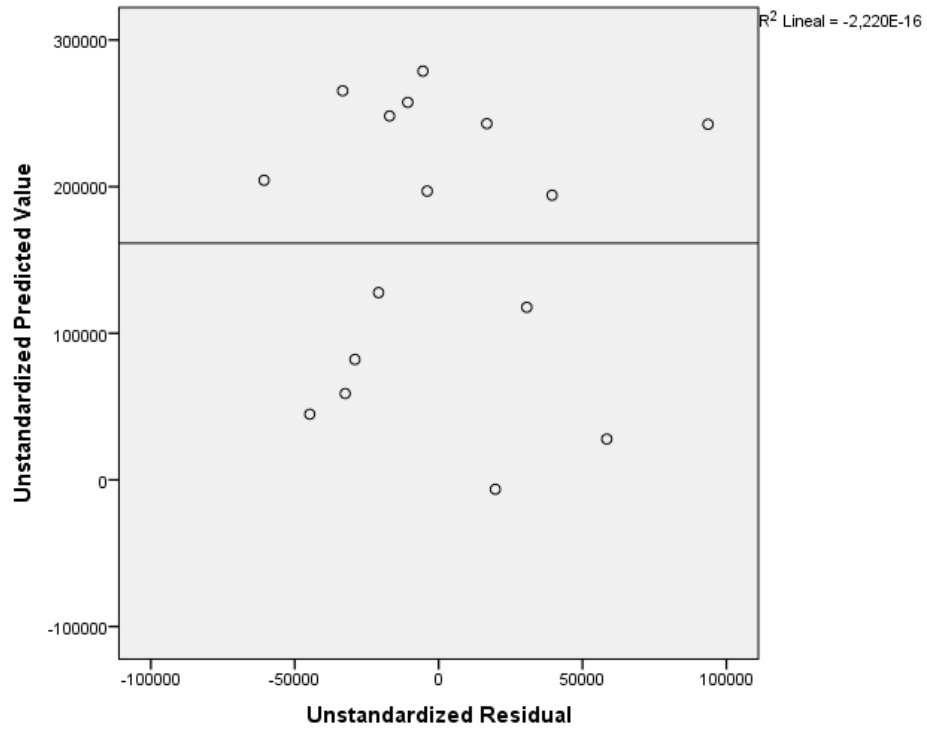


Figura 350. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E13

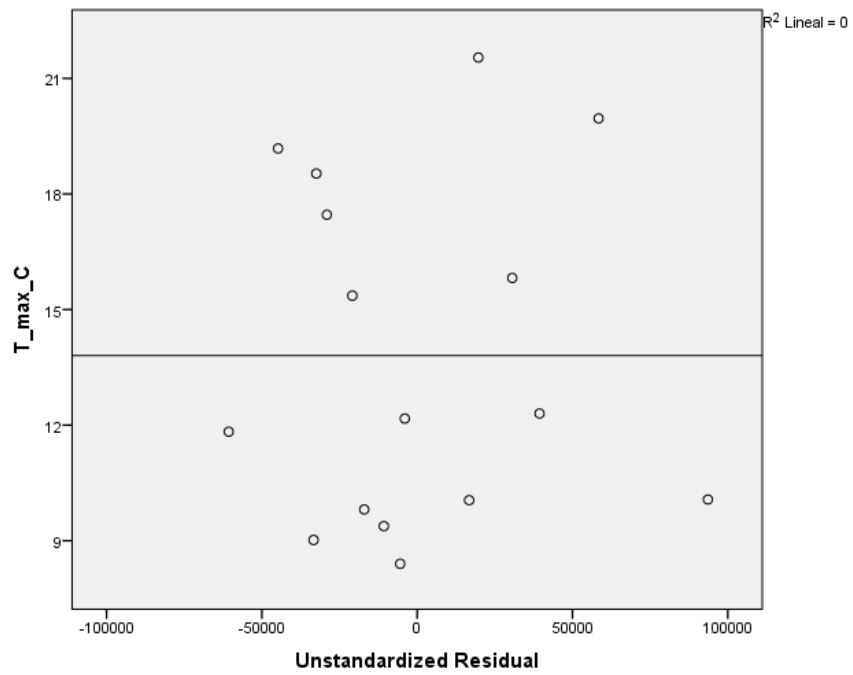


Figura 351. Relación entre T_max y los residuos en el Edificio E13

AV.9.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio E13.

$$\text{kWh_E13_Pronosticado} = 461.136,517 - 21.706,507 \times T_{\text{max}}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 577, donde “kWh_E13_Real”, representa el consumo real redistribuido, “kWh_E13_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 577. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E13.

	T_max	kWh_E13_Real	kWh_E13_Pronosticado
oct-15	19,10	34.000	46.528
nov-15	14,00	203.190	157.238
dic-15	11,21	149.940	217.877
ene-16	10,33	165.700	236.950
feb-16	11,01	367.886	222.245
mar-16	12,83	236.912	182.663
abr-16	15,40	175.949	126.835
may-16	20,04	32.710	26.033
oct-16	21,78	29.981	-11.729
nov-16	12,44	262.380	191.079
dic-16	9,53	218.390	254.365
ene-17	9,88	386.780	246.690
feb-17	12,59	264.570	187.797
mar-17	16,71	179.680	98.365
abr-17	21,07	78.670	3.838
may-17	24,49	23.570	-70.407
oct-17	24,51	18.590	-70.904
nov-17	14,38	176.720	149.077
dic-17	9,18	264.900	261.850
ene-18	8,99	287.620	265.890
feb-18	9,79	307.970	248.583
mar-18	11,48	253.030	211.918
abr-18	17,30	118.064	85.549
may-18	20,59	22.920	14.207

En el estudio de la existencia de diferencias significativas, se prescindirá de los meses en los que los valores pronosticados han sido negativos, por resultar ser valores imposibles, estos meses son octubre 2016, mayo 2017 y octubre 2017.

AV.9.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales y pronosticados se distribuyen según una Normal (Sig $>0,05$), como se observa en la Tabla 578

Tabla 578. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E13

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,174	8	,200	,929	8	,506
kWh_pronosticado	,169	8	,200	,892	8	,246

En la Tabla 579, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E13, en un 11,0 %

Tabla 579. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E13

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	170785,8750		8	108584,10062	38390,27694
kWh_pronosticado	152046,1250	-11,0%	8	80252,80231	28373,65036

La Tabla 580 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $> 0,05$)

Tabla 580. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E13

	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Diferencias relacionadas				
Par 1 kWh_real - kWh_pronosticado	18739,750	71476,402	25270,724	-41016,017	78495,517	,742	7	,482

En la Figura 352 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E13, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

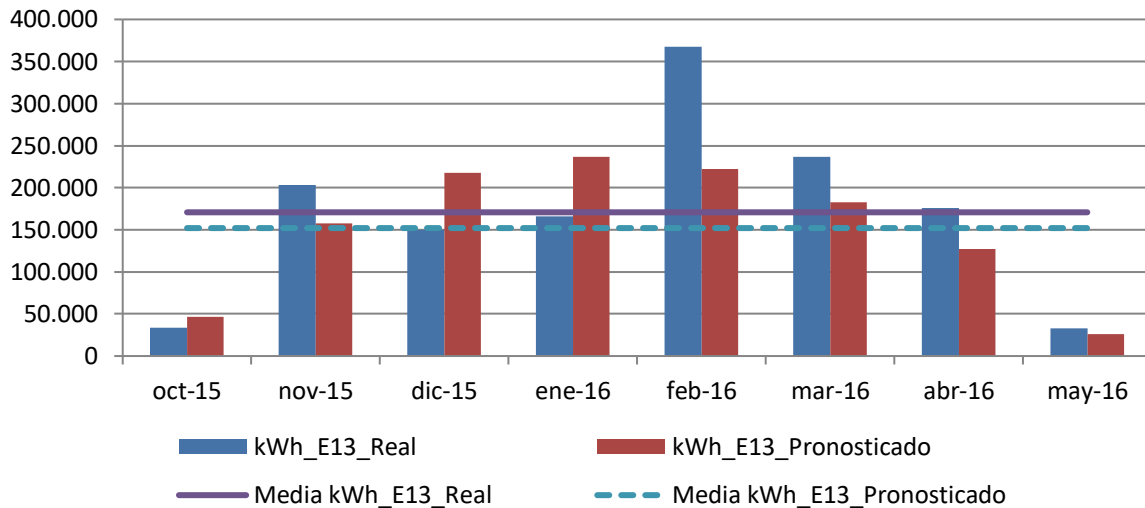


Figura 352. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E13

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 581

Tabla 581. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E13

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real sin octubre 2016, ni mayo 2017	,208	6	,200	,974	6	,916
kWh_pronosticado	,266	6	,200	,891	6	,323

En la Tabla 582 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E13, en un 29,4 %

Tabla 582. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E13

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	231745,0000		6	102345,40630	41782,33716
kWh_pronosticado	163689,0000	-29,4%	6	96189,68543	39269,27464

La Tabla 583 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 583. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E13

Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
		68056,000	57130,688	23323,506	8101,020	128010,980	2,918	5	,033

En la Figura 353 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E13, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

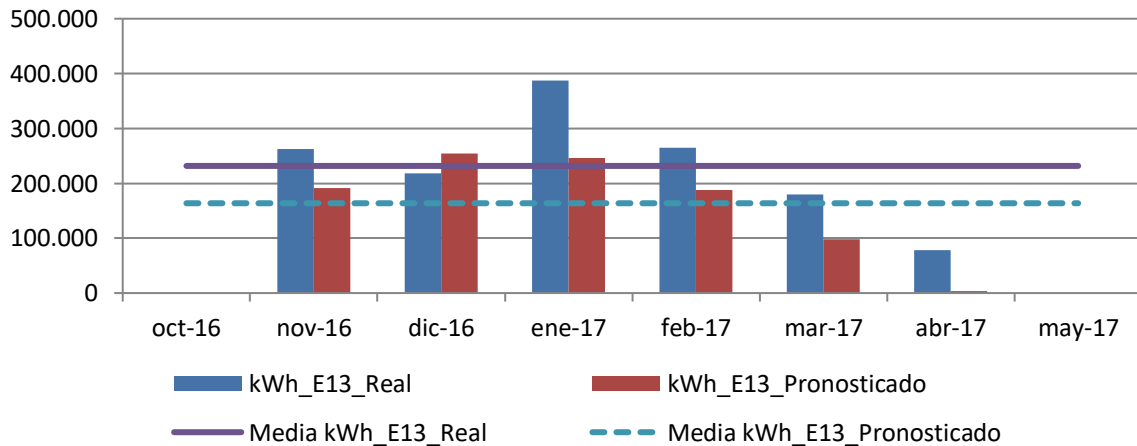


Figura 353. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E13

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 584

Tabla 584. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E13

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real sin octubre 2017	,251	7	,200	,899	7	,326
kWh_pronosticado	,212	7	,200	,881	7	,232

En la Tabla 585, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son inferiores a las medias de los consumos reales del Edificio E13, en un 13,6 %

Tabla 585. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E13

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	204460,5714		7	103949,09989	39289,06676
kWh_pronosticado	176724,8571	-13,6%	7	97543,45824	36867,96179

La Tabla 586 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05)

Tabla 586. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E13

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	27735,714	19195,902	7255,369	9982,466	45488,962	3,823	6	,009

En la Figura 354, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E13, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

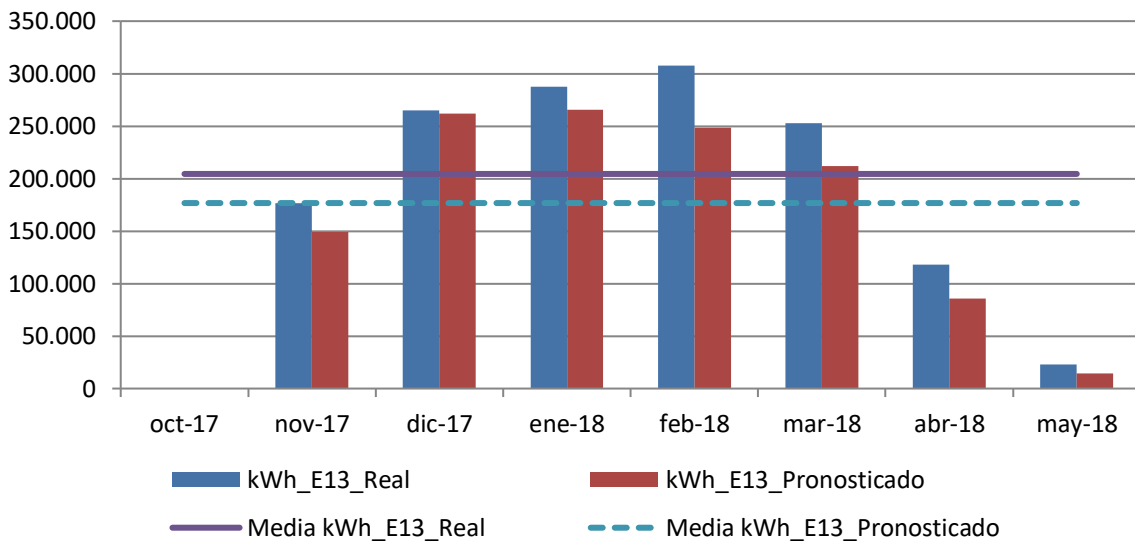


Figura 354. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E13

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales se distribuyen según una Normal puesto que $\text{Sig} > 0,05$: pero los pronosticados no se distribuyen según una Normal ($\text{sig} \leq 0,05$), como se observa en la Tabla 587

Tabla 587. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E13

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,088	21	,200	,964	21	,606
kWh_pronosticado	,158	21	,182	,900	21	,035

Al no cumplirse la hipótesis de normalidad, no se puede aplicar la prueba paramétrica de la T-student para analizar si la diferencias encontradas en las medias son significativas, por lo que se concluye que no se han detectado tales diferencias.

AV.9.5. Estimación de las emisiones de CO2 evitadas.

Teniendo en cuenta que al consumir Gas Natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 588, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y dado que no se han detectado diferencias significativas, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 588. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E13.

	kWh_ E13 Gas natural	kWh_ E13 Biomasa	kWh_ E13 Real Total	kWh_ E13 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	34.000	34.000	34.000	0	816	816	8.568	7.752	7.752
nov-2015	0	203.190	203.190	203.190	0	4.877	4.877	51.204	46.327	54.079
dic-2015	0	149.940	149.940	149.940	0	3.599	3.599	37.785	34.186	88.266
ene-2016	0	165.700	165.700	165.700	0	3.977	3.977	41.756	37.780	126.045
feb-2016	99.226	268.660	367.886	367.886	25.005	6.448	31.453	92.707	61.254	187.300
mar-2016	27.252	209.660	236.912	236.912	6.868	5.032	11.899	59.702	47.802	235.102
abr-2016	3.239	172.710	175.949	175.949	816	4.145	4.961	44.339	39.378	274.480
may-2016	0	32.710	32.710	32.710	0	785	785	8.243	7.458	281.938
oct-2016	5.081	24.900	0	0	1.280	598	1.878	0	-1.878	280.060
nov-2016	3.160	259.220	262.380	262.380	796	6.221	7.018	66.120	59.102	339.162
dic-2016	120	218.270	218.390	218.390	30	5.238	5.269	55.034	49.766	388.928
ene-2017	80	386.700	386.780	386.780	20	9.281	9.301	97.469	88.168	477.095
feb-2017	600	263.970	264.570	264.570	151	6.335	6.486	66.672	60.185	537.281
mar-2017	640	179.040	179.680	179.680	161	4.297	4.458	45.279	40.821	578.102
abr-2017	0	78.670	78.670	78.670	0	1.888	1.888	19.825	17.937	596.038
may-2017	0	23.570	0	0	0	566	566	0	-566	595.473
oct-2017	0	18.590	0	0	0	446	446	0	-446	595.027
nov-2017	0	176.720	176.720	176.720	0	4.241	4.241	44.533	40.292	635.319
dic-2017	0	264.900	264.900	264.900	0	6.358	6.358	66.755	60.397	695.716
ene-2018	0	287.620	287.620	287.620	0	6.903	6.903	72.480	65.577	761.293
feb-2018	0	307.970	307.970	307.970	0	7.391	7.391	77.608	70.217	831.510
mar-2018	4.120	248.910	253.030	253.030	1.038	5.974	7.012	63.764	56.751	888.262
abr-2018	944	117.120	118.064	118.064	238	2.811	3.049	29.752	26.703	914.965
may-2018	0	22.920	22.920	22.920	0	550	550	5.776	5.226	920.191

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 920 Toneladas de CO₂, debido al cambio de la energía utilizada.

AV.9.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 589 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 590, muestran el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 589. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,03166			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02740			

Tabla 590. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E13

	kWh_ E13 Gas natural	kWh_E13_ Biomasa	kWh_E13 Real	kWh_E13 Pronosticado	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas Natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	34.000	34.000	34.000	0	932	932	1.268	337	337
nov-2015	0	203.190	203.190	203.190	0	5.567	5.567	7.579	2.012	2.348
dic-2015	0	149.940	149.940	149.940	0	4.108	4.108	5.593	1.484	3.833
ene-2016	0	165.700	165.700	165.700	0	4.540	4.540	5.070	530	4.363
feb-2016	99.226	268.660	367.886	367.886	3.036	7.361	10.398	11.257	860	5.223
mar-2016	27.252	209.660	236.912	236.912	834	5.745	6.579	7.250	671	5.893
abr-2016	3.239	172.710	175.949	175.949	99	4.732	4.831	5.384	553	6.446
may-2016	0	32.710	32.710	32.710	0	896	896	1.001	105	6.551
oct-2016	5.081	24.900	0	0	155	682	838	0	-838	5.713
nov-2016	3.160	259.220	262.380	262.380	97	7.103	7.199	8.029	830	6.543
dic-2016	120	218.270	218.390	218.390	4	5.981	5.984	6.683	698	7.241
ene-2017	80	386.700	386.780	386.780	3	10.596	10.598	12.145	1.547	8.788
feb-2017	600	263.970	264.570	264.570	19	7.233	7.252	8.307	1.056	9.844
mar-2017	640	179.040	179.680	179.680	20	4.906	4.926	5.642	716	10.560
abr-2017	0	78.670	78.670	78.670	0	2.156	2.156	2.470	315	10.875
may-2017	0	23.570	0	0	0	646	646	0	-646	10.229
oct-2017	0	18.590	0	0	0	509	509	0	-509	9.719
nov-2017	0	176.720	176.720	176.720	0	4.842	4.842	5.549	707	10.426
dic-2017	0	264.900	264.900	264.900	0	7.258	7.258	8.318	1.060	11.486
ene-2018	0	287.620	287.620	287.620	0	7.881	7.881	9.664	1.783	13.269
feb-2018	0	307.970	307.970	307.970	0	8.438	8.438	10.348	1.909	15.179
mar-2018	4.120	248.910	253.030	253.030	138	6.820	6.959	8.502	1.543	16.722
abr-2018	944	117.120	118.064	118.064	32	3.209	3.241	3.967	726	17.448
may-2018	0	22.920	22.920	22.920	0	628	628	770	142	17.590
€ Total							117.206	134.796		
Ahorro (%)										15,0%

AV.10. Edificio E14. Aulario Campus Esgueva.

AV.10.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 591

Tabla 591. Consumos térmicos del edificio E14

Consumos térmicos (kWh). E14	
oct-12	25.019
nov-12	65.981
dic-12	70.700
ene-13	56.717
feb-13	54.283
mar-13	40.277
abr-13	32.185
may-13	28.487
oct-13	1.616
nov-13	55.254
dic-13	69.059
ene-14	51.061
feb-14	53.630
mar-14	46.470
abr-14	17.641
may-14	8.218
Promedio	42.287
Total (oct-12-may-13)	373.650
Total (oct-13-may-14)	302.950
Total (oct-12-may-13)	676.599

Como se puede ver en la Tabla 592 para el edificio, el método ofrece un modelo de regresión, con una sola variable (Grados Día en base 20, obtenidos con datos cada 24 horas). El modelo fue construido con un solo paso, incluyendo los Grados día base 20 cada 24 h, por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000). El resto de las variables como se observa en la Tabla 593 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig >0,05.

Tabla 592. Modelos de regresión del Edificio E14

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-24047,456	7667,493	-3,136	,007	-40492,593	-7602,318
GD20_24h	184,862	20,534	9,003	,000	140,822	228,902

En la Figura 355 se representa el modelo de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

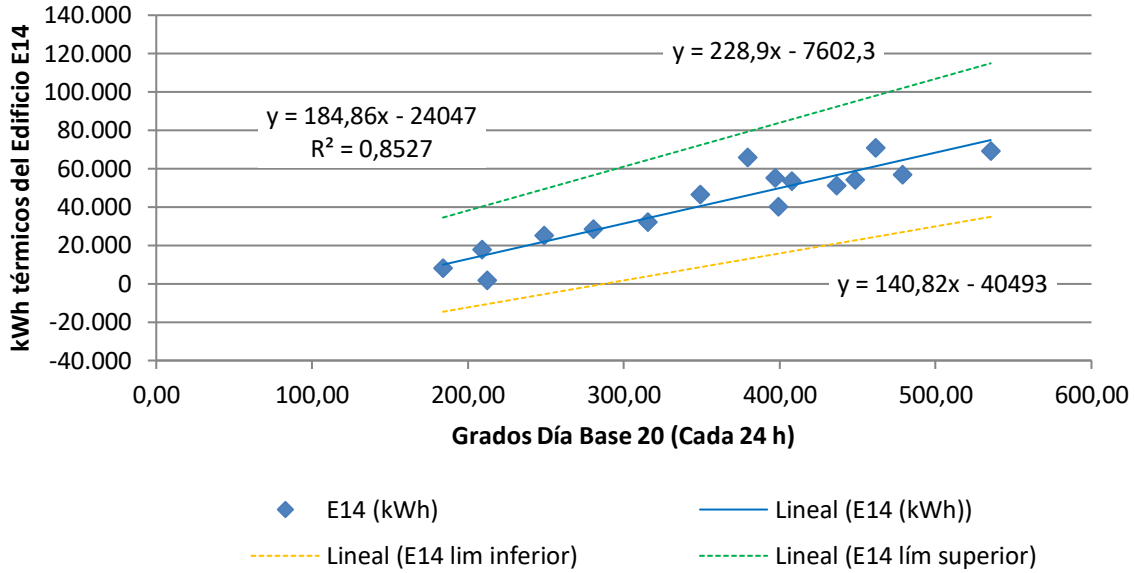


Figura 355. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E14

Tabla 593. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E14

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,446	,663	-,123
	GD20_30_min	-,078	,939	-,022
	GD15_24h	-,289	,778	-,080
	T_med_C	-,416	,684	-,115
	T_media_diurna_C	-,242	,812	-,067
	T_max_C	-,355	,728	-,098
	T_min_C	-,671	,514	-,183
	HR_%	-,284	,781	-,079
	HR_med_diurna_%	-,174	,864	-,048
1	HR_max_%	-,394	,700	-,109
	HR_min_%	-,106	,917	-,029
	V_Viento_m/s	-,781	,449	-,212
	V_viento_diurna_m/s	-,704	,494	-,192
	V_viento_nocturna_m/s	-,849	,411	-,229
	V_viento_max_m/s	-,578	,573	-,158
	Recorrido_viento_km/día	-,780	,449	-,211
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,170	,867	-,047
	Horas insolación_h	-,422	,680	-,116
	Radiación_W/m2	-,135	,895	-,037

La bondad del modelo de regresión obtenido para el edificio E14, se resumen en la Tabla 594

Tabla 594. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E14

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,923	,853	,842	8486,5182

Se observa como el modelo de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) de 0,923, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce es directa, al aumentar el valor de los Grados día, aumenta el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo se podría explicar el 85,3% de los datos reales obtenidos aceptando un error del 5%.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 8.487 kWh, lo que representa un 20,1% del promedio de los consumos que fue de 42.287 kWh.

AV.10.2.Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 592, la pendiente (B), obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E14) y la independiente (GD20_24h). Al ser el valor de la pendiente positiva, indica una relación directa entre el consumo y los Grados día base 20.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de la variable independiente (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula que la distribución es Normal.

La Tabla 595, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio), como la variable independientes: GD20 poseen una Sig >0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 595. Prueba de normalidad para el edificio E14

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E14	,159	16	,200	,941	16	,360
GD20_24h	,139	16	,200	,952	16	,517

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo [dU, 4-dU], de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es 1,603.

En el modelo, n = 16 y k = 1, según la Tabla 3 el valor dU = 1,371 y dL = 1,106, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es [1,371, 2,629]

Los intervalos [0, 1,106] y [2,896, 4] indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas [1,106, 1,371] y [2,629, 2,896] son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,603 está dentro del intervalo de ausencia de correlación, se concluye que no existe autocorrelación en los residuos.

- **Homocedasticidad de la varianza. Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la variable independiente (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.**

Esta condición indica que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos. Se comprueba que el coeficiente de determinación R^2 , en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variable independiente es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas.

Las Figura 356 y Figura 357, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = $1,11 \times 10^{-16}$ y entre la variable independiente (Grados día base 20) y los residuos un coeficiente de determinación de $-2,22 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

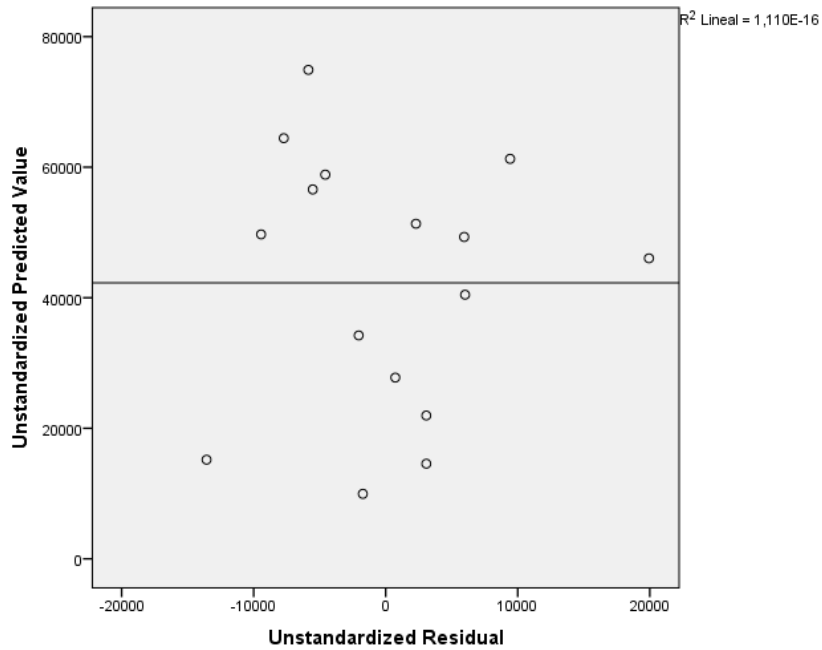


Figura 356. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E14

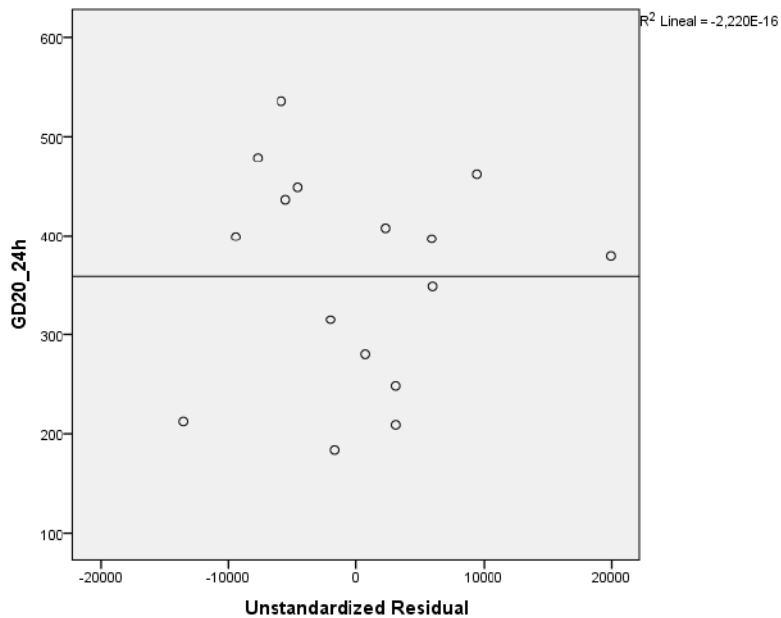


Figura 357. Relación entre GD20_24h y los residuos en el Edificio E14

AV.10.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta el modelo de línea base encontrado para modelizar el consumo del Edificio E14.

$$\text{kWh}_{E14_Pronosticado} = - 24.047,456 + 184,862 \times \text{GD20}_{24h}$$

Con este modelo se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 596, donde “kWh_E14_Real”, representa el consumo real redistribuido, “kWh_E14_Pronosticado”, el consumo pronosticado con el Modelo.

Tabla 596. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E14.

	GD20_24h	kWh_E14_Real	kWh_E14_Pronosticado
oct-15	222,62	9.687	17.107
nov-15	350,93	38.632	40.826
dic-15	454,81	55.921	60.030
ene-16	426,76	39.537	54.844
feb-16	411,33	102.472	51.992
mar-16	429,57	42.448	55.364
abr-16	326,98	31.991	36.399
may-16	213,46	11.087	15.413
oct-16	202,11	7.812	13.315
nov-16	392,95	38.585	48.594
dic-16	492,22	63.199	66.945
ene-17	542,00	70.886	76.148
feb-17	365,13	40.723	43.451
mar-17	334,51	31.425	37.791
abr-17	222,69	12.601	17.119
may-17	111,78	769	-3.384
oct-17	164,47	1	6.357
nov-17	417,29	24.942	53.094
dic-17	496,27	69.441	67.694
ene-18	482,96	62.464	65.233
feb-18	461,20	65.539	61.211
mar-18	409,12	48.603	51.583
abr-18	265,61	29.414	25.054
may-18	185,14	5.144	10.178

En el estudio de la existencia de diferencias significativas, el mes de mayo de 2017, no será tenido en cuenta por ser negativo el valor pronosticado en ese mes.

AV.10.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando la prueba “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018.

Para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que los valores reales y pronosticados se distribuyen según una Normal (Sig $>0,05$), como se observa en la Tabla 597

Tabla 597. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E14

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,237	8	,200	,874	8	,164
kWh_pronosticado	,226	8	,200	,868	8	,144

En la Tabla 598, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E14, en un 0,1%

Tabla 598. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E14

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	41471,8750		8	29193,83451	10321,57917
kWh_pronosticado	41496,8750	0,1%	8	17426,33562	6161,14005

La Tabla 599 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig $> 0,05$)

Tabla 599. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E14

		Diferencias relacionadas							
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-25,000	20922,481	7397,214	-17516,632	17466,632	-,003	7	,997

En la Figura 358 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E14, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

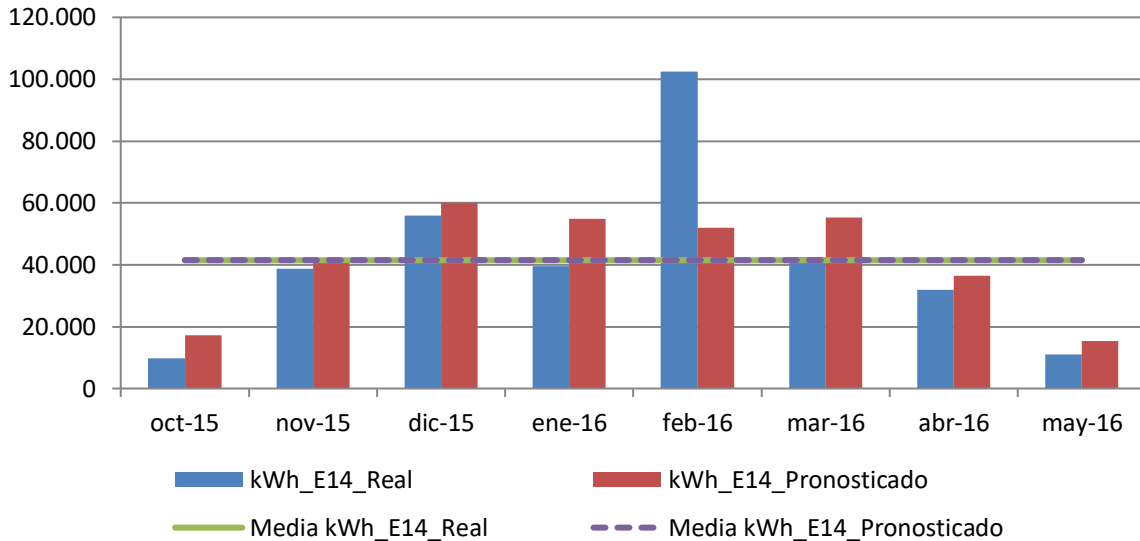


Figura 358. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E14

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados con los dos modelos se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 600

Tabla 600. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E14

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real sin mayo 2017	,166	7	,200	,942	7	,654
kWh_pronosticado	,155	7	,200	,948	7	,713

En la Tabla 601, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E14, en un 14,4 %

Tabla 601. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E14

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	37890,1429		7	23536,51858	8895,96784
kWh_pronosticado	43337,5714	14,4%	7	23384,50538	8838,51225

La Tabla 602 muestra que las diferencias entre las medias son significativas entre los consumos reales y los pronosticados ($\text{sig} \leq 0,05$)

Tabla 602. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E14

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-5447,429	2339,628	884,296	-7611,224	-3283,633	-6,160	6	,001

En la Figura 359 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E14, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

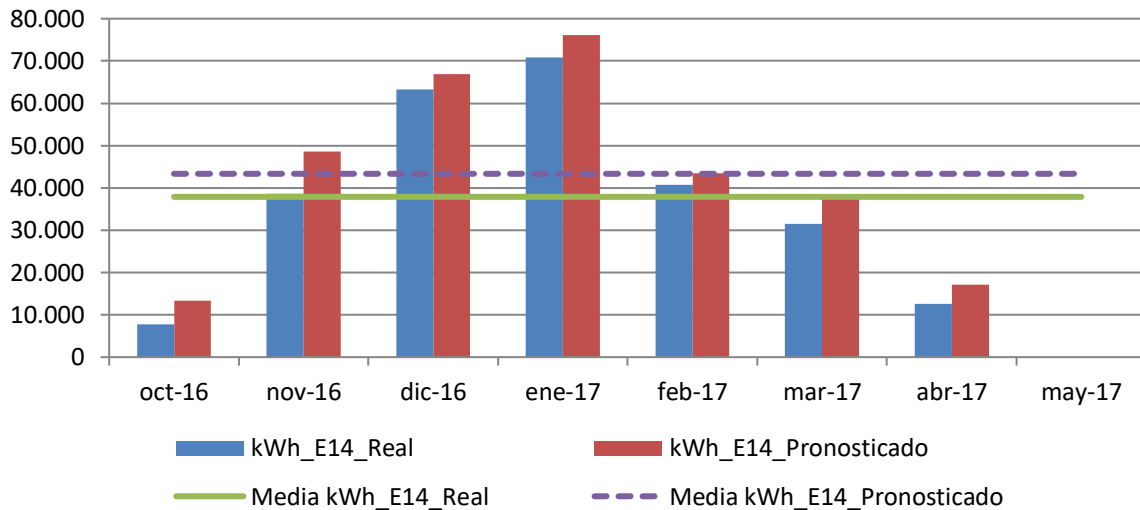


Figura 359. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E14

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de $\text{Sig} > 0,05$, como se observa en la Tabla 603

Tabla 603. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E14

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,188	8	,200	,905	8	,321
kWh_pronosticado	,266	8	,099	,853	8	,103

En la Tabla 604, se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E14, en un 11,4 %

Tabla 604. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E14

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	38193,5000		8	27321,40936	9659,57692
kWh_pronosticado	42550,5000	11,4%	8	24933,43372	8815,30003

La Tabla 605 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05)

Tabla 605. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E14

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	kWh_real - kWh_pronosticado	-4357,000	10445,425	3693,016	-13089,594	4375,594	-1,180	7	,277

En la Figura 360, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E14, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, con un riesgo a estar equivocados del 5%

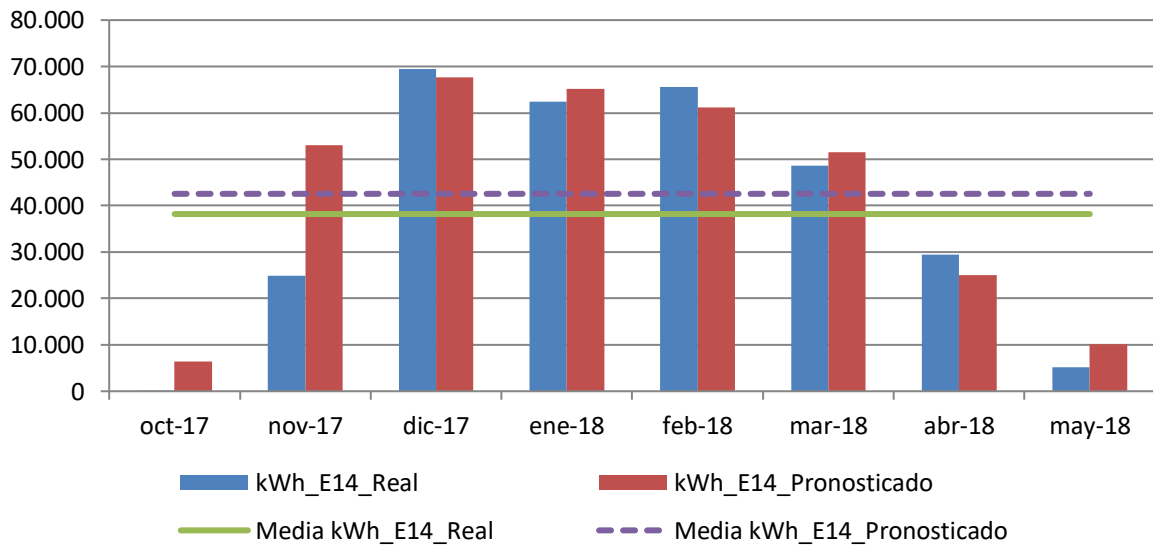


Figura 360. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E14

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, que los valores reales y los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en esos casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 606

Tabla 606. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,111	23	,200	,959	23	,436
kWh_pronosticado	,146	23	,200	,932	23	,121

En la Tabla 607 se observa como las medias de los consumos pronosticados, son superiores a las medias de los consumos reales del Edificio E14, en un 8,1 %

Tabla 607. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	39241,4783		23	25740,26568	5367,21642
kWh_pronosticado	42423,5652	8,1%	23	21074,89930	4394,42028

La Tabla 608 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados (sig > 0,05)

Tabla 608. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronosticado	-3182,087	13462,990	2807,227	-9003,920	2639,747	-1,134	22	,269

AV.10.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gasóleo se producen 0,311 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 609, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y dado que no se han detectado diferencias significativas, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gasóleo originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 609. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio E14.

	kWh_ E14 Gasóleo	kWh_ E14 Biomasa	kWh_ E14 Real Total	kWh_ E14 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gasóleo	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gasóleo	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	9.687	9687	9.687	0	232	232	3.013	2.780	2.780
nov-2015	0	38.632	38632	38.632	0	927	927	12.015	11.087	13.868
dic-2015	0	55.921	55921	55.921	0	1.342	1.342	17.391	16.049	29.917
ene-2016	0	39.537	39537	39.537	0	949	949	12.296	11.347	41.264
feb-2016	37.866	64.606	102472	102.472	11.776	1.551	13.327	31.869	18.542	59.806
mar-2016	2.470	39.978	42448	42.448	768	959	1.728	13.201	11.474	71.280
abr-2016	1.441	30.550	31991	31.991	448	733	1.181	9.949	8.768	80.047
may-2016	3.018	8.069	11087	11.087	939	194	1.132	3.448	2.316	82.363
oct-2016	2.706	5.106	7812	7.812	842	123	964	2.430	1.465	83.829
nov-2016	1.103	37.482	38585	38.585	343	900	1.242	12.000	10.757	94.586
dic-2016	3.832	59.367	63199	63.199	1.192	1.425	2.617	19.655	17.038	111.624
ene-2017	54	70.832	70886	70.886	17	1.700	1.717	22.046	20.329	131.953
feb-2017	31	40.692	40723	40.723	10	977	986	12.665	11.679	143.632
mar-2017	0	31.425	31425	31.425	0	754	754	9.773	9.019	152.651
abr-2017	601	12.000	12601	12.601	187	288	475	3.919	3.444	156.095
may-2017	31	738	0	0	10	18	27	0	-27	156.067
oct-2017	0	1	1	1	0	0	0	0	0	156.068
nov-2017	0	24.942	24942	24.942	0	599	599	7.757	7.158	163.226
dic-2017	0	69.441	69441	69.441	0	1.667	1.667	21.596	19.930	183.156
ene-2018	0	62.464	62464	62.464	0	1.499	1.499	19.426	17.927	201.083
feb-2018	0	65.539	65539	65.539	0	1.573	1.573	20.383	18.810	219.892
mar-2018	0	48.603	48603	48.603	0	1.166	1.166	15.116	13.949	233.842
abr-2018	0	29.414	29414	29.414	0	706	706	9.148	8.442	242.283
may-2018	0	5.144	5144	5.144	0	123	123	1.600	1.476	243.760

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 244 Toneladas de CO₂, debido al cambio de la energía utilizada.

AV.10.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 610 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 611, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 610. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gasóleo C	0,0517	0,0437	0,0499	0,0560
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,049515			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,042700			

Tabla 611. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E14

	kWh_E14 Gasóleo	kWh_E14 Biomasa	kWh_E14 Real	kWh_E14 Pronosticado	€ Real Gasóleo	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gasóleo	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	9.687	9687	9.687	0	414	414	501	87	87
nov-2015	0	38.632	38632	38.632	0	1.650	1.650	1.997	348	435
dic-2015	0	55.921	55921	55.921	0	2.388	2.388	2.891	503	938
ene-2016	0	39.537	39537	39.537	0	1.688	1.688	1.728	40	978
feb-2016	37.866	64.606	102472	102.472	1.655	2.759	4.413	4.478	65	1.042
mar-2016	2.470	39.978	42448	42.448	108	1.707	1.815	1.855	40	1.082
abr-2016	1.441	30.550	31991	31.991	63	1.304	1.367	1.398	31	1.113
may-2016	3.018	8.069	11087	11.087	132	345	476	484	8	1.121
oct-2016	2.706	5.106	7812	7.812	118	218	336	341	5	1.126
nov-2016	1.103	37.482	38585	38.585	48	1.600	1.649	1.686	37	1.163
dic-2016	3.832	59.367	63199	63.199	167	2.535	2.702	2.762	59	1.223
ene-2017	54	70.832	70886	70.886	3	3.025	3.027	3.537	510	1.733
feb-2017	31	40.692	40723	40.723	2	1.738	1.739	2.032	293	2.026
mar-2017	0	31.425	31425	31.425	0	1.342	1.342	1.568	226	2.252
abr-2017	601	12.000	12601	12.601	30	512	542	629	86	2.338
may-2017	31	738	0	0	2	32	33	0	-33	2.305
oct-2017	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2.305
nov-2017	0	24.942	24942	24.942	0	1.065	1.065	1.245	180	2.485
dic-2017	0	69.441	69441	69.441	0	2.965	2.965	3.465	500	2.985
ene-2018	0	62.464	62464	62.464	0	2.667	2.667	3.498	831	3.816
feb-2018	0	65.539	65539	65.539	0	2.799	2.799	3.670	872	4.687
mar-2018	0	48.603	48603	48.603	0	2.075	2.075	2.722	646	5.334
abr-2018	0	29.414	29414	29.414	0	1.256	1.256	1.647	391	5.725
may-2018	0	5.144	5144	5.144	0	220	220	288	68	5.793
€ Total							38.629	44.423		
Ahorro (%)										15,0%

AV.11. Edificio E15. Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Paseo del Cauce).

AV.11.1. Obtención de la línea base de referencia energética

Los datos de partida para la obtención de la línea base de referencia se muestran en la Tabla 612

Tabla 612. Consumos térmicos del edificio E15

Consumos térmicos (kWh). E15	
oct-12	14.487
nov-12	211.446
dic-12	285.072
ene-13	254.609
feb-13	314.998
mar-13	236.366
abr-13	146.559
may-13	50.082
oct-13	2.235
nov-13	187.533
dic-13	318.094
ene-14	258.821
feb-14	276.638
mar-14	208.852
abr-14	116.325
may-14	18.881
Promedio	181.312
Total (oct-12-may-13)	1.513.619
Total (oct-13-may-14)	1.387.379
Total (oct-12-may-13)	2.900.998

Se disponen de 16 datos para establecer el modelo de regresión, mediante el método de pasos sucesivos.

Utilizando el programa SPSS V.20, se obtiene el modelo de regresión mediante el método de pasos sucesivos. Como se puede ver en la Tabla 613 para el edificio E15, el método ofrece dos modelos de regresión, uno con una sola variable (Temperatura media) y otro con dos variables (Temperatura media y velocidad del viento máxima). El primer modelo (modelo de regresión lineal simple) fue construido con un solo paso, incluyendo la Temperatura media por ser la variable más significativa (variable con menor valor de Sig = 0,000) que indica la probabilidad de cometer un error al rechazar que la pendiente de la variable "Temperatura media" es igual a cero, por lo que se acepta que esa variable forma parte del modelo con una pendiente (B= -29.001,808).

El segundo modelo (modelo de regresión lineal múltiple) se construyó en dos pasos, primero entró la Temperatura media y luego entró la siguiente variable que rechazase la Hipótesis nula, (las variables que rechazan la hipótesis nula son las que presentan una pendiente estadísticamente significativa y su probabilidad de cometer el error de rechazar H_0 es $\leq 0,05$, para un nivel de confianza del 95 %), esta variable fue la “velocidad de viento máxima”, por presentar un valor de Sig = 0,045, el resto de las variables como se observa en la Tabla 614 fueron excluidas del modelo al tener valores de sig $>0,05$, en el segundo paso.

Tabla 613. Modelos de regresión del Edificio E15

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B		
	B	Error típ.			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	417713,362	23371,853	17,872	,000	367585,721	467841,002
	T_med	-29001,808	2637,409	-10,996	,000	-34658,488	-23345,128
2	(Constante)	299729,447	57081,978	5,251	,000	176411,331	423047,563
	T_med	-28070,125	2368,975	-11,849	,000	-33187,985	-22952,265
	V_viento_max_m/s	15392,005	6941,947	2,217	,045	394,839	30389,170

En la Figura 361 se representa el modelo 1 de regresión con sus límites inferior y superior para un nivel de confianza del 95 %

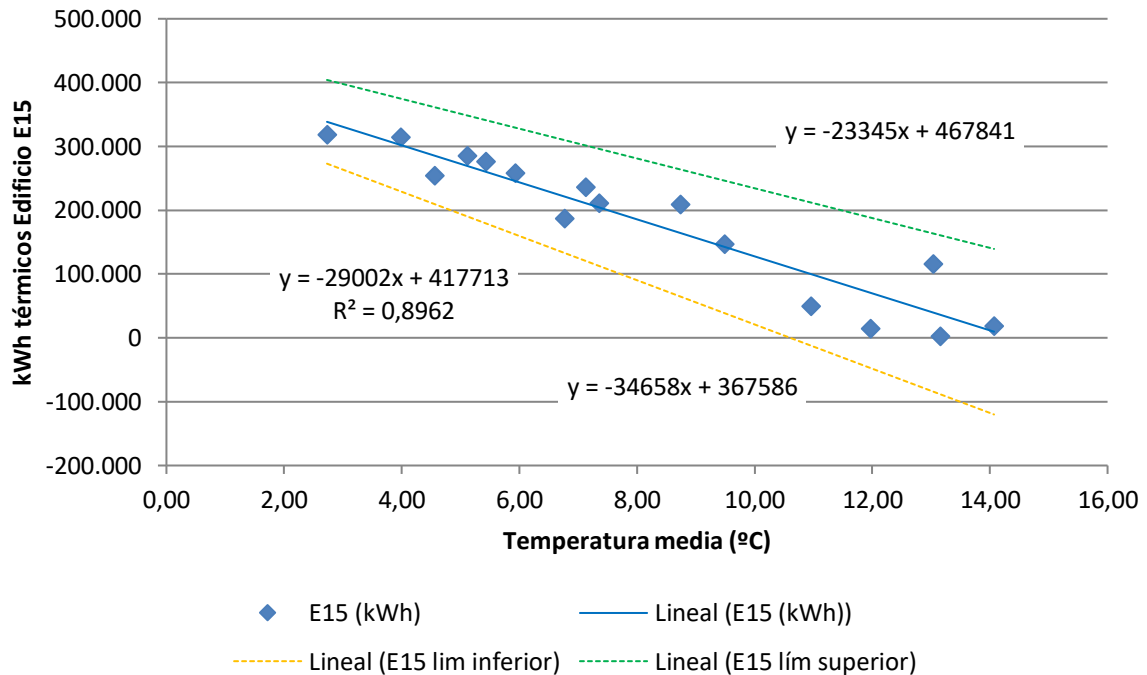


Figura 361. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E15

En la Figura 362 se representa el modelo 2 de regresión lineal múltiple para el edificio E15

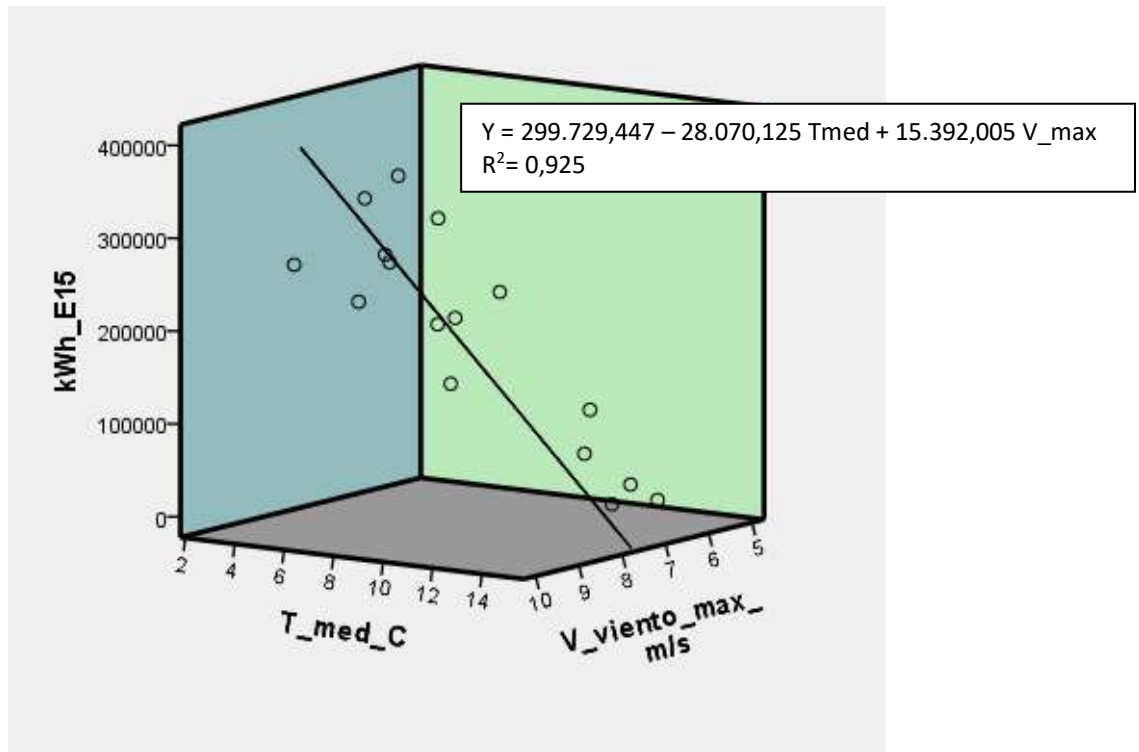


Figura 362. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio E15

Los valores de la columna t se obtienen dividiendo el valor de los coeficientes no estandarizados entre sus errores típicos, este estadístico tiende a ser mayor en valor absoluto cuando la hipótesis alternativa es verdadera, es decir cuando la variable posee una pendiente significativa en el modelo de regresión.

En las Tabla 613 y Tabla 614, el estadístico t y su nivel crítico (Sig), permiten contrastar la hipótesis nula consistente en que el coeficiente de regresión vale cero en el modelo; a mayor valor de t, mayor peso en el modelo.

El valor “Sig” corresponde a los valores de probabilidad de los valores de t, es la probabilidad de obtener el valor de t si la hipótesis nula fuera cierta, cuando son $\leq 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las pendientes son distintas de cero, luego si $Sig > 0,05$ se acepta la hipótesis nula de que la pendiente de la variable independiente en el modelo de regresión es igual a cero, no cumpliendo el criterio de entrada en el modelo. La correlación parcial, que aparece en la Tabla 614 estudia la relación existente entre dos variables cuantitativas cuando se controla o elimina el efecto de terceras variables, en el modelo de regresión lineal, a mayor valor absoluto, mayor relación entre la variable dependiente y la independiente.

Tabla 614. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E15

	Modelo	t	Sig.	Correlación parcial
	GD15_30min	-,442	,666	-,122
	GD20_30min	-,586	,568	-,160
	GD15_24h	-,969	,350	-,260
	GD20_24h	-,738	,473	-,201
	T_media_diurna	,851	,410	,230
	T_max	,503	,623	,138
	T_min	-1,042	,316	-,278
	HR_%	-1,489	,160	-,382
	HR_med_diurna_%	-1,268	,227	-,332
1	HR_max_%	-1,973	,070	-,480
	HR_min_%	-1,262	,229	-,330
	V_Viento_m/s	2,091	,057	,502
	V_viento_diurna_m/s	2,179	,048	,517
	V_viento_nocturna_m/s	1,922	,077	,470
	V_viento_max_m/s	2,217	,045	,524
	Recorrido_viento_km/día	2,084	,057	,500
	Precipitación_acumulada_mes_mm	,050	,960	,014
	Horas insolación_h	,818	,428	,221
	Radiación_W/m2	1,096	,293	,291
	GD15_30min	,437	,670	,125
	GD20_30min	,134	,896	,039
	GD15_24h	-,095	,926	-,027
	GD20_24h	-,026	,980	-,007
	T_media_diurna	,803	,438	,226
	T_max	,794	,443	,223
	T_mín	-,945	,363	-,263
	HR_%	-,726	,482	-,205
2	HR_med_diurna_%	-,656	,524	-,186
	HR_max_%	-,884	,394	-,247
	HR_min_%	-,691	,503	-,195
	V_Viento_m/s	-,183	,858	-,053
	V_viento_diurna_m/s	-,034	,974	-,010
	V_viento_nocturna_m/s	-,244	,811	-,070
	Recorrido_viento_km/día	-,207	,840	-,060
	Precipitación_acumulada_mes_mm	-,666	,518	-,189
	Horas insolación_h	-,045	,965	-,013
	Radiación_W/m2	,410	,689	,118

La bondad de los modelos de regresión obtenidos para el edificio E15, se resumen en la Tabla 615

Tabla 615. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio E15

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	-,947	,896	,889	36676,2442
2	-,962	,925	,913	32420,9823

Se observa como el modelo 1 de regresión lineal simple presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson (R) inferior en valor absoluto al modelo 2 de regresión lineal múltiple, este coeficiente indica que las variables de los modelos están correlacionadas de manera muy fuerte (en la correlación perfecta $R=\pm 1$). La correlación que se produce en ambos modelos es inversa, al aumentar el valor de las variables independientes disminuye el valor de la variable dependiente que es el consumo térmico.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica que con el modelo 1 se podría explicar el 89,6% de los datos reales obtenidos y el modelo 2, el porcentaje de aciertos o de explicación asciende al 92,5%, ambos aceptando un error del 5%.

El coeficiente de determinación corregido (R^2 corregido) que tiene en cuenta el número de variables independientes incluidas en el modelo y el tamaño de la muestra, reduce el coeficiente de determinación al 88,9% en el modelo 1 y al 91,3% en el modelo 2.

El error típico de la estimación que nos indica la magnitud de los errores, es decir la parte de la variable dependiente que dejamos sin explicar con el modelo y que describe la variación de la variable respuesta (el Consumo) respecto a la recta de regresión, es de 36.676 kWh para el modelo 1 y de 32.421 kWh para el modelo 2, lo que representa un 20,2% del promedio de los consumos que fue de 181.312 kWh para el modelo 1 y del 17,9% para el modelo 2. Por tanto aunque el modelo 2 es más preciso, también es aceptado el modelo 1 para la representación de la línea base de los consumos térmicos del edificio E15.

AV.11.2.Verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos

Las condiciones que se deben cumplir en un modelo de regresión son:

- **Linealidad de las variables, las variables se encuentran relacionadas de forma lineal.**

Como se observa en la Tabla 613, la pendiente (B), para el modelo 1, obtuvo un valor de Sig = 0,000, que al ser $\leq 0,05$, nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E15) y la independiente (Temperatura media). Al ser el valor de la pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media.

Para el modelo 2, según la misma Tabla 613, las pendientes de las dos variables introducidas en el modelo obtuvieron unos valores de Sig = 0,000 para la Temperatura media y de 0,045 para la Velocidad del viento máxima, ambos $\leq 0,05$, lo que nos indica que podemos rechazar la hipótesis nula de pendiente igual a cero y nos da la evidencia de linealidad entre la variable dependiente (kWh del edificio E15) y las independientes (Temperatura media y velocidad del viento máxima). Al ser el valor de la primera pendiente negativa, indica una relación inversa entre el consumo y la Temperatura media y de la segunda pendiente positiva, indica relación directa entre el consumo y la velocidad del viento máxima.

- **Normalidad. Todos los valores obtenidos para la variable dependiente (Y), deben estar distribuidos normalmente en cada valor de las variables independientes (X).**

Se comprueba la normalidad de las variables y de los residuos mediante el Test de Shapiro – Wilk para muestras pequeñas (menores a 30 observaciones), siendo la hipótesis nula el que la distribución es Normal, luego si la probabilidad del estadístico del test es \leq al nivel de significación 0,05, la hipótesis nula es rechazada y sólo aceptaremos que las variables se distribuyen según una Normal cuando el valor de la significación sea mayor que 0,05 (valor de la significación $> 0,05$) en el Test de Shapiro Wilk.

La Tabla 616, muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y cómo tanto la variable dependiente (consumos del Edificio E15), como las variables independientes: Temperatura media y velocidad de viento máxima poseen una Sig $> 0,05$, por lo que aceptamos la hipótesis nula de Normalidad de las variables

Tabla 616. Prueba de normalidad para el edificio E15

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_E15	,161	16	,200	,899	16	,079
T_med	,150	16	,200	,942	16	,376
V_viento_máx_m/s	,159	16	,200	,924	16	,195

- **Independencia de los errores. Los errores asociados a los valores de la variable respuesta (Y) deberán ser independientes unos de otros.**

Para la comprobación se utiliza el estadístico de Durbin –Watson.

Se comprueba que el Estadístico de Durbin Watson para el nivel de significancia del 5%, y para el tamaño de la muestra “n” y el número de variables independientes del modelo “k”, se encuentra en el intervalo $[dU, 4-dU]$, de la Tabla 3, intervalo centrado en el 2, que indica la ausencia de autocorrelación.

El valor del Estadístico Durbin-Watson facilitado por el programa SPSS, es:

- para el modelo 1 de 1,041 (Regresión lineal simple)
- para el modelo 2 de 1,623 (Regresión lineal múltiple)

En el modelo 1, $n = 16$ y $k = 1$, según la Tabla 3, el valor $dU = 1,371$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,371, 2,629]$.

Los intervalos $[0, 1,106]$ y $[2,896, 4]$ indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas $[1,106, 1,371]$ y $[2,629, 2,896]$ son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,041 está dentro del intervalo de correlación positiva, se concluye que los residuos del Modelo 1, **presentan correlación** y no se puede admitir el Modelo 1 como válido.

En el modelo 2, $n = 16$ y $k = 2$, según la Tabla 3, el valor $dU = 1,539$ y $dL = 0,982$, luego el intervalo que marca la ausencia de correlación es $[1,539, 2,461]$.

Los intervalos $[0, 0,982]$ y $[3,018, 4]$ indican correlación positiva o negativa respectivamente y las zonas $[0,982, 1,539]$ y $[2,461, 3,018]$ son zonas no concluyentes; como el valor del estadístico 1,623 está dentro del intervalo de ausencia de correlación, se acepta que los residuos del Modelo 2, no están correlacionados.

- **Homocedasticidad de la varianza.** Se pretende comprobar que la varianza de los errores (σ^2) es constante para cualquier valor de la(s) variable(s) independiente(s) (X), es decir que el valor medio del cuadrado de la desviación de los errores respecto a su media es constante.

Esta condición indica que el error es una variable aleatoria que tomará un valor distinto cada vez que se ejecute el modelo y que no existe correlación entre los residuos y los pronósticos.

La forma de comprobar la homocedasticidad es verificando si el coeficiente de determinación R^2 , que indica la proporción de la variable dependiente (Y o consumo del edificio) que puede ser explicada por la variación de las variables independientes (las variables climatológicas), en las relaciones: residuos y predicciones y entre residuos y variables independientes es nulo o muy próximo a cero, lo que indicará que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios. Se grafican los diagramas de dispersión de esas relaciones, comprobando que se corresponden a nubes de puntos totalmente aleatorias, sin tendencias ni patrones en sus representaciones gráficas. Para el modelo 1. Regresión lineal simple, las Figura 363 y Figura 364, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = 0 y entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación de $1,11 \times 10^{-16}$; por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante.

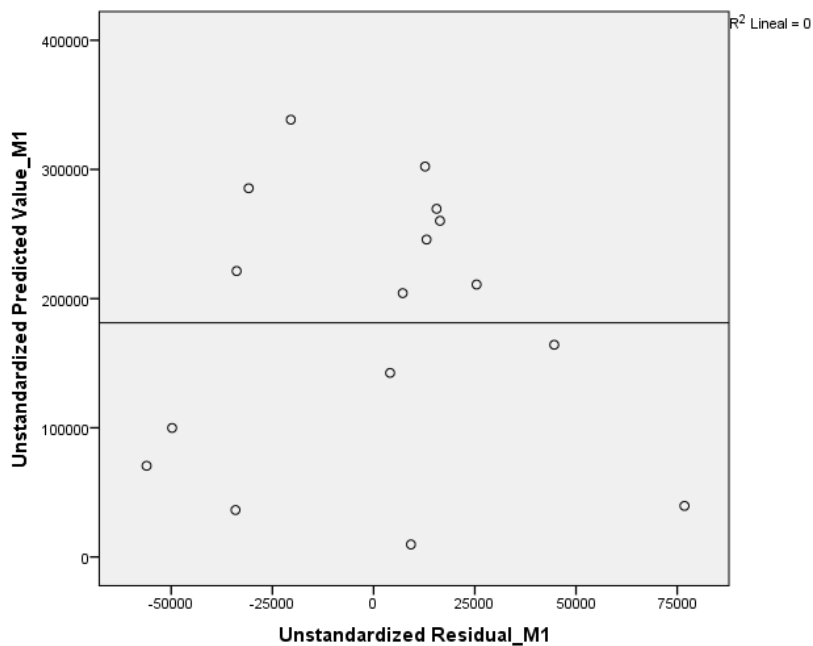


Figura 363. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E15. Modelo 1

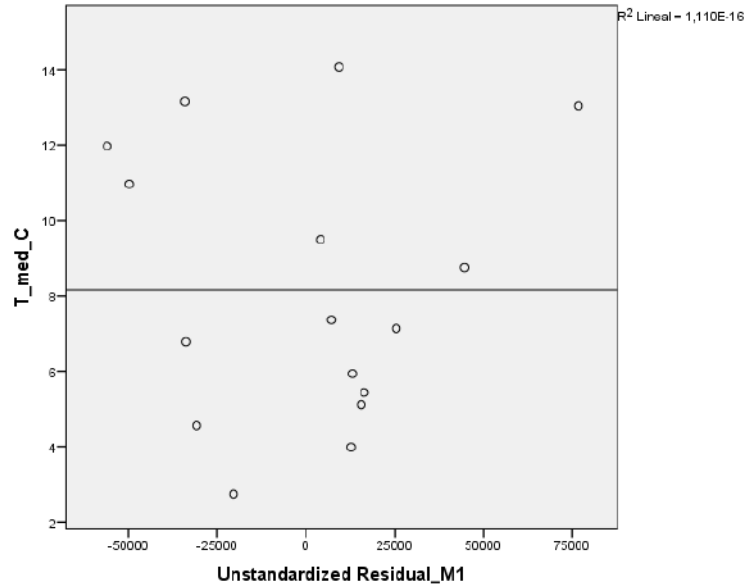


Figura 364. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E15. Modelo 1

Para el modelo 2. Regresión lineal múltiple, la Figura 365, Figura 366 y Figura 367, muestran que la relación entre los pronósticos y los residuos, posee un coeficiente de determinación = $2,22 \times 10^{-16}$, entre la variable independiente (Temperatura media) y los residuos un coeficiente de determinación, de $-2,22 \times 10^{-16}$ y entre la variable independiente (velocidad del viento máxima) y los residuos, también de $-2,22 \times 10^{-16}$; prácticamente nulo, por lo que se concluye que no existe ningún tipo de correlación en los residuos y que éstos son aleatorios, siendo la varianza de los residuos constante

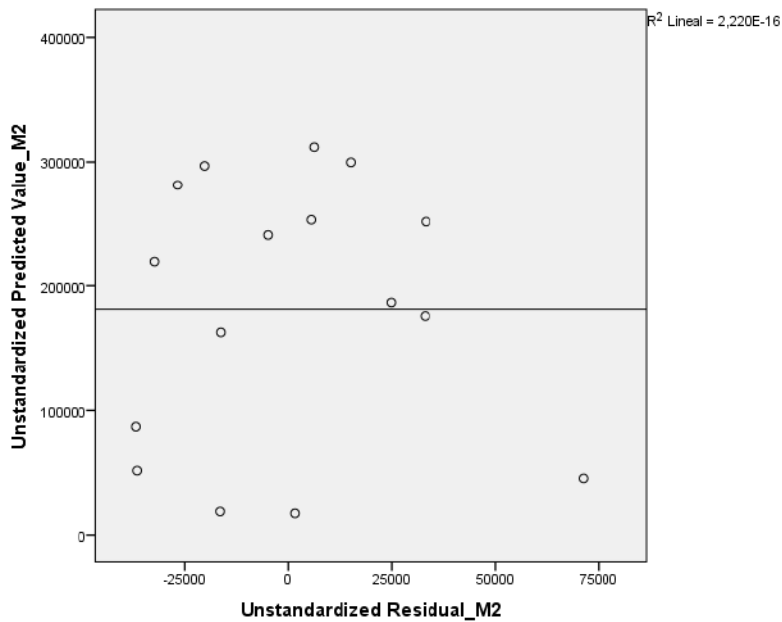


Figura 365. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E15. Modelo 2

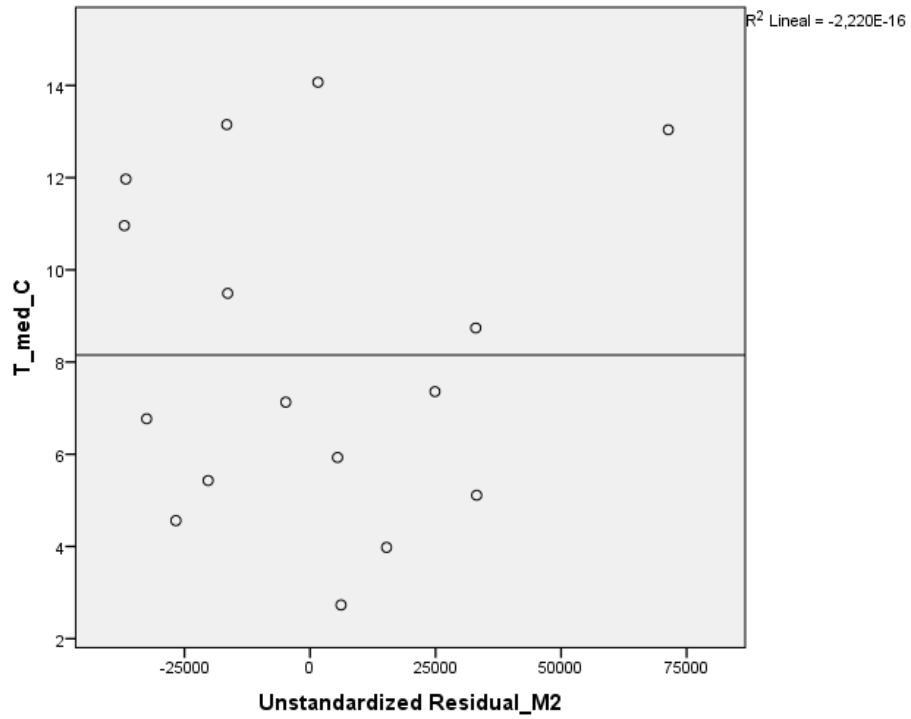


Figura 366. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E15. Modelo 2

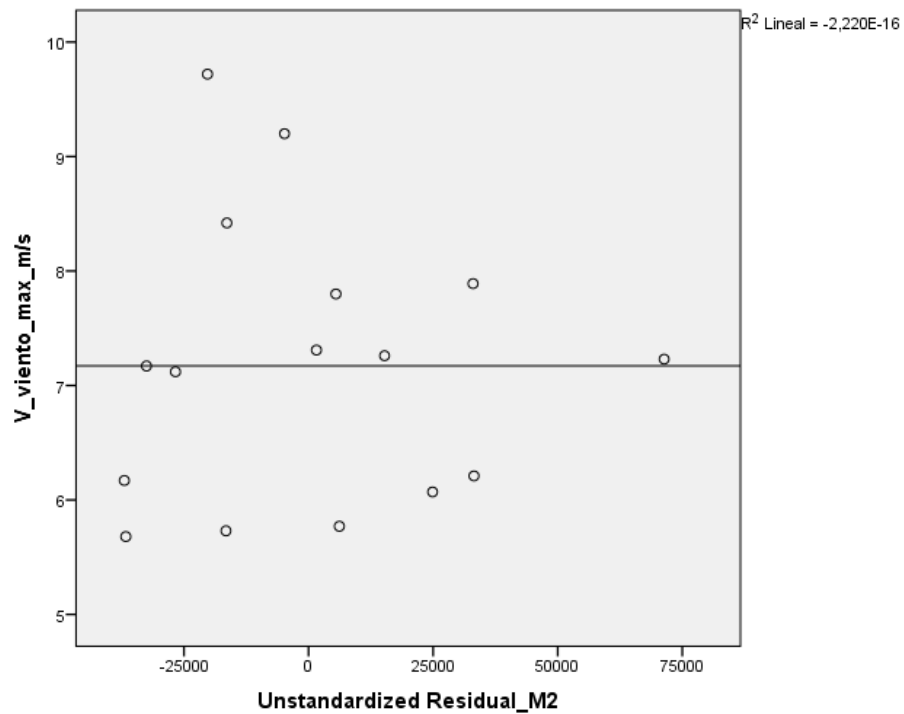


Figura 367. Relación entre la velocidad máxima y los residuos. Edificio E15. Modelo 2

- Cuando la regresión es lineal múltiple, se comprueba la falta de multicolinealidad o No-Colinealidad entre las variables independientes, es decir que las variables que forman parte del modelo no están correlacionadas entre ellas.

El problema de la multicolinealidad es moderado cuando el índice de condición toma un valor entre 20 y 30 y es grave cuando el índice de condición toma un valor superior a 30. El número de condición mide la sensibilidad de las estimaciones mínimo-cuadráticas ante pequeños cambios en los datos a mayor valor más correlación entre las variables.

La Tabla 617, muestra los índices de condición de las variables del modelo de regresión múltiple, ninguno de ellos supera el valor 20, por lo que no existen evidencias de correlación entre las variables independientes del modelo

Tabla 617. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio E15

Modelo	Dimensión	Índice de condición
2	1	1,000
	2	4,900
	3	15,740

En cuanto a los índices estadísticos de colinealidad como son los niveles Tolerancia y su inverso que son los Factores de Inflación de la Varianza (FIV). El nivel de tolerancia se obtiene restando a 1 el coeficiente de determinación (R^2). Como se observa en la Figura 368, el coeficiente de determinación entre las dos variables independientes es $R^2 = 0,031$, luego la Tolerancia es $T = 1 - R^2 = 1 - 0,031 = 0,969$ y $FIV = 1/T = 1,032$

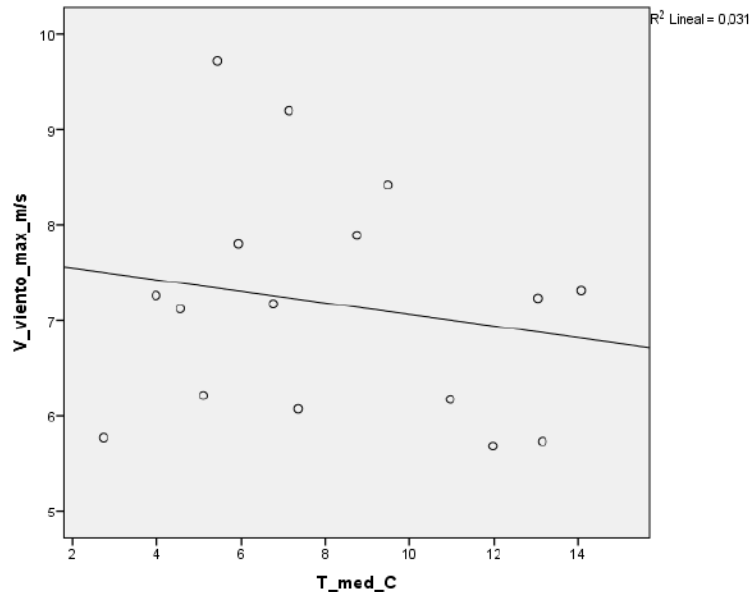


Figura 368. Gráfico de la temperatura mínima y la velocidad del viento máxima.

Si la Tolerancia toma un valor próximo a la unidad no existirá colinealidad (a mayor tolerancia menor colinealidad), por lo que se podrá deducir que no existe multicolinealidad entre las variables independientes. Pueden existir problemas de colinealidad si algún FIV es superior a 10, que corresponde con un R^2 de 0,9 y una Tolerancia menor a 0,1

La Tabla 618, muestra los estadísticos de colinealidad y se observa como la Tolerancia toma valores de 0,969, próxima a 1 y los valores de FIV permanecen por debajo de 10, por lo que no existen problemas de colinealidad entre la temperatura media y la velocidad del viento máxima.

Tabla 618. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio E15

Modelo		Tolerancia	FIV
1	T_med	1,000	1,000
2	T_med	,969	1,032
	V_viento_maxima_m/s	,969	1,032

AV.11.3. Obtención de los consumos térmicos previstos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos estadísticos se acepta sólo el Modelo 2 como línea base para modelizar el consumo del Edificio E15.

Modelo 1: $kWh_{E15} = 417.713,362 - 29.001,808 \times T_{med}$ (No aceptado)

Modelo 2: $kWh_{E15} = 299.729,447 - 28.070,125 \times T_{med} + 15.392,005 \times V_{viento_max}$

Con el Modelo 2 se procede a predecir los consumos previstos para las temporadas: octubre 2015-mayo 2016, octubre 2016 – mayo 2017 y octubre 2017-mayo 2018, estos consumos se muestran en la Tabla 619, donde “ kWh_{E15} ”, representa el consumo real, “ kWh_{E15_M1} ”, el consumo que hubiera sido pronosticado con el Modelo 1, si hubiera sido aceptado y “ kWh_{E15_M2} ”, el consumo pronosticado con el Modelo 2.

Tabla 619. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E15.

	T_media	V_viento_máx	kWh_E15	kWh_E15_M1	kWh_E15_M2	kWh_E15_M1 - kWh_E15_M2
oct-15	12,82	5,64	53.000	45.952	26.722	19.230
nov-15	8,30	4,31	173.200	176.936	133.017	43.920
dic-15	5,33	3,53	126.100	263.153	204.463	58.690
ene-16	6,23	6,82	167.500	236.908	229.750	7.157
feb-16	5,82	8,02	269.211	249.057	259.882	-10.825
mar-16	6,14	7,14	174.003	239.541	237.150	2.391
abr-16	9,10	7,49	122.200	153.776	159.609	-5.832
may-16	13,11	5,79	35.033	37.374	20.768	16.606
oct-16	13,40	4,22	37.197	29.227	-11.278	40.505
nov-16	6,90	3,95	192.797	217.576	166.810	50.766
dic-16	4,12	1,81	181.536	298.199	211.889	86.310
ene-17	2,52	2,53	283.796	344.727	268.005	76.722
feb-17	6,96	4,48	205.600	215.886	173.386	42.500
mar-17	9,21	4,15	170.464	150.622	105.160	45.462
abr-17	12,58	3,86	53.800	52.982	6.129	46.854
may-17	16,69	4,92	13.800	-66.245	-93.027	26.783
oct-17	14,71	5,22	8.772	-8.927	-32.849	23.922
nov-17	6,09	4,89	137.564	241.071	204.085	36.986
dic-17	3,99	4,94	220.020	301.946	263.678	38.268
ene-18	4,42	3,73	247.100	289.490	232.978	56.512
feb-18	3,53	6,32	267.216	315.398	297.978	17.420
mar-18	6,80	10,33	227.864	220.425	267.823	-47.398
abr-18	11,15	7,49	96.348	94.451	102.148	-7.697
may-18	14,03	6,46	26.700	10.897	5.375	5.522

Los datos pronosticados que han resultado ser negativos serán anulados del Modelo 2, por representar valores imposibles.

AV.11.4. Estudio de la existencia de diferencias significativas

Utilizando el contraste de hipótesis para la comparación de medias para muestras relacionadas, es decir la prueba paramétrica “t” de Student para muestras relacionadas, podemos concluir que si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, existen diferencias significativas. En caso contrario no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyendo que las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas y no van más allá de lo que sería esperable por azar, todo ello con la aceptación de un riesgo de error del 5%, o lo que es lo mismo un nivel de confianza del 95%

A continuación se muestra la comparación de medias realizada para cada uno de los tres periodos posteriores a la construcción de la red y para el periodo total hasta mayo de 2018, utilizando únicamente los datos pronosticados con el Modelo 2.

Para la temporada **Octubre 2015 – Mayo 2016**, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 620.

Tabla 620. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E15. Modelo 2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real	,199	8	,200	,942	8	,634
kWh_pronost_M2	,188	8	,200	,878	8	,179

En la Tabla 621, se observa que la media de los consumos pronosticados con el Modelo 2, es superior a la media del consumo real del Edificio E15; un 4,2%.

Tabla 621. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E15

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	140030,8750		8	74457,36075	26324,65235
kWh_pronost_M2	158920,1250	4,2 %	8	93072,96564	32906,26257

La Tabla 622 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 2 (sig > 0,05).

Tabla 622. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E15

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronost_M2	-18889,250	46512,819	16444,765	-57774,940	19996,440	-1,149	7	,288

En la Figura 369, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2015 – Mayo 2016 para el Edificio E15, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada no son estadísticamente significativas, para un nivel de confianza del 95 %.

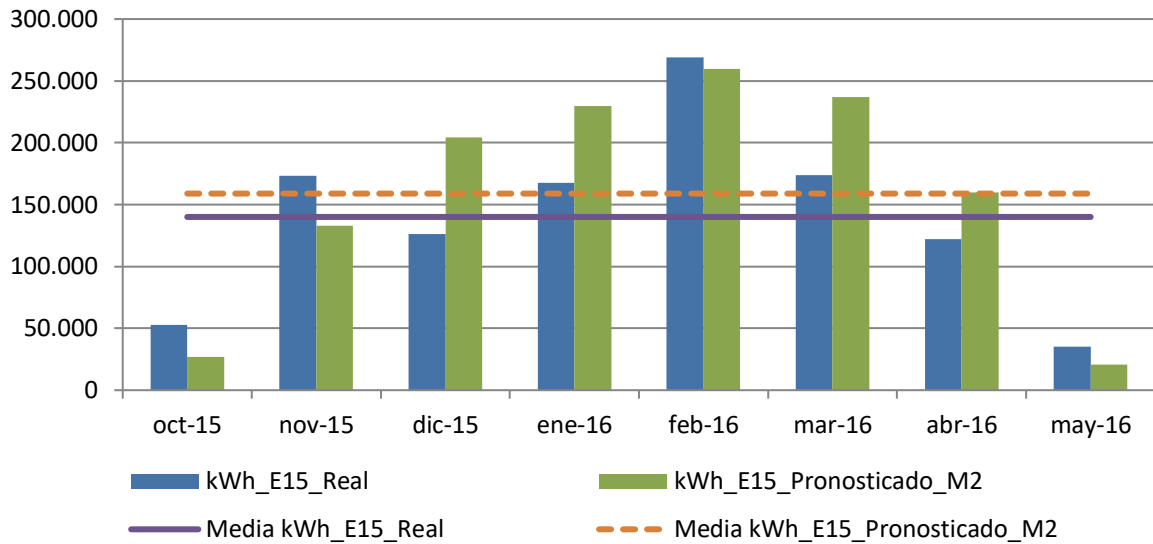


Figura 369. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E15

Para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig > 0,05, como se observa en la Tabla 623

Tabla 623. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E15

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real (sin octubre 2016 ni mayo 2017)	,275	6	,174	,913	6	,456
kWh_pronost_M2	,217	6	,200*	,962	6	,835

En la Tabla 624, se observa como la media de los consumos pronosticados con el Modelo 2, es inferior a la media del consumo real del Edificio E15, un 14,4%.

Tabla 624. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E15

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	181332,1667		6	74299,15129	30332,50150
kWh_pronost_M2	155229,8333	-14,4%	6	90697,62152	37027,14893

La Tabla 625, muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 1, ni con el Modelo 2 (sig > 0,05)

Tabla 625. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E15

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronost_M2	26102,333	32658,451	13332,757	-8170,609	60375,276	1,958	5	,108

En la Figura 370, se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2016 – Mayo 2017 para el Edificio E15, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada no son estadísticamente significativas las diferencias encontradas entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 2, para un nivel de confianza del 95 %.

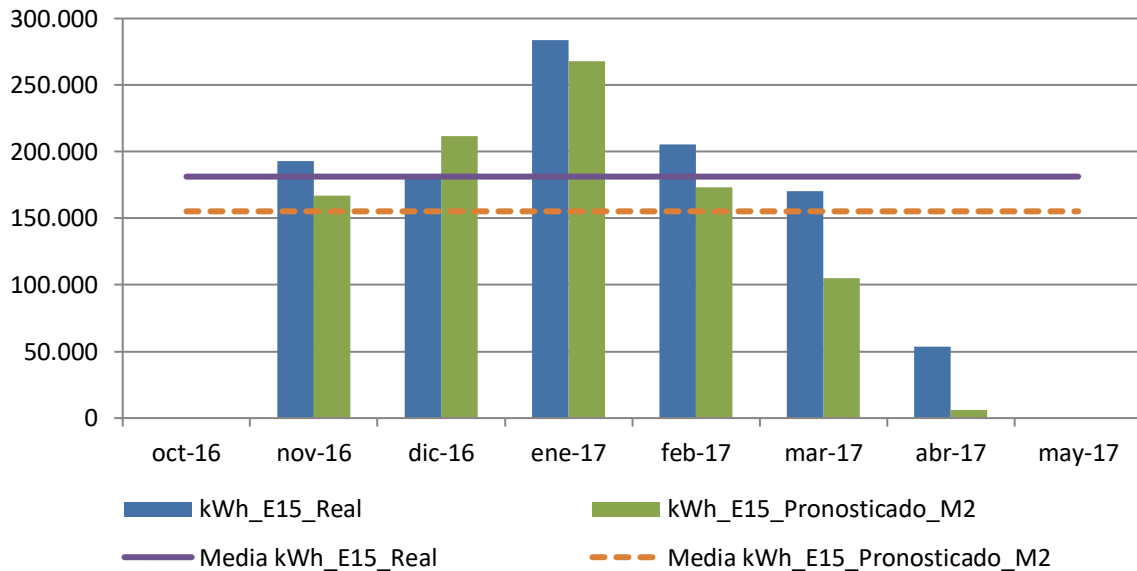


Figura 370. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E15

Para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk que tanto los valores reales como los pronosticados se distribuyen según una Normal puesto que en todos los casos los valores de Sig >0,05, como se observa en la Tabla 626

Tabla 626. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E15

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real sin octubre 2017	,265	7	,147	,902	7	,343
kWh_pronost_M2	,244	7	,200	,870	7	,186

En la Tabla 627 se observa como la media de los consumos pronosticados con el Modelo 2, es superior a la media del consumo real del Edificio E15, un 12,4%.

Tabla 627. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E15

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	174687,4286		7	89539,00532	33842,56296
kWh_pronost_M2	196295,0000	12,4%	7	105448,71309	39855,86727

La Tabla 628 muestra que las diferencias entre las medias no son significativas entre los consumos reales y los pronosticados con el Modelo 2 (sig > 0,05).

Tabla 628. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E15

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
kWh_real - kWh_pronost_M2	-21607,571	32387,506	12241,327	-51561,019	8345,876	-1,765	6	,128

En la Figura 371 se grafican los consumos reales y pronosticados para la temporada Octubre 2017 – Mayo 2018 para el Edificio E15, y las medias de dichos consumos. Según la prueba paramétrica realizada no son estadísticamente significativas las diferencias encontradas entre el consumo real y el pronosticado por el modelo 2, para un nivel de confianza del 95 %.

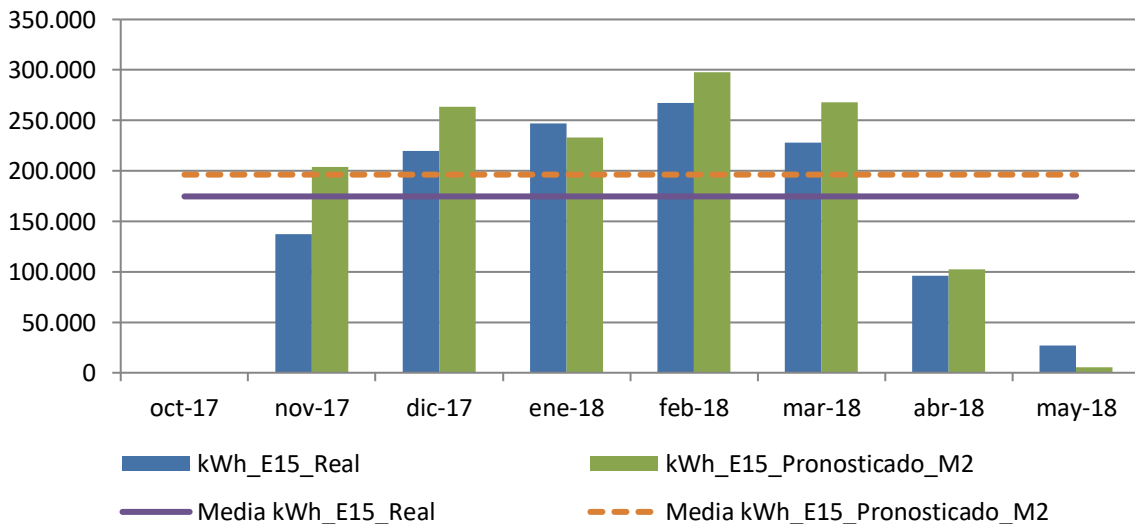


Figura 371. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E15

Para el total de las tres temporadas Octubre 2015 – Mayo 2018, se comprueba mediante el Test de Shapiro –Wilk, si los valores reales y los pronosticados con el Modelo M2 se distribuyen según una Normal, se observa que los valores reales si se corresponden con una Normal, (Sig > 0,05), pero los pronosticados, no (Sig ≤ 0,5), como se observa en la Tabla 629, luego no se puede aplicar la pruebas paramétrica para el estudio de diferencias significativas.

Tabla 629. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E15

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
kWh_real (sin octubre 2016, mayo 2017, octubre 2017)	,140	21	,200	,952	21	,368
kWh_pronost_M2	,164	21	,142	,904	21	,041

En la Tabla 630, se observa que la media de los consumos pronosticados con el Modelo 2, es superior a la media del consum real en un 4,2 %, pero al no poderse aplicar la prueba paramétrica no se puede concluir que esta diferencia sea o no significativa

Tabla 630. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E15

	Media	% Diferencia entre medias	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
kWh_real	163383,4286		21	78007,25941	17022,57957
kWh_pronost_M2	170324,0476	4,2%	21	93705,32478	20448,17828

AV.11.5. Estimación de las emisiones de CO₂ evitadas.

Teniendo en cuenta que el consumir Gas natural se producen 0,252 kg CO₂ / kWh E. final y que al consumir la energía suministrada por red a partir de Biomasa se producen 0,024 kg CO₂ / kWh E. final, en la Tabla 631, se muestra las emisiones de CO₂ reales para las temporadas octubre 2015 – mayo 2018 y al no haberse detectado diferencias significativas, utilizando el consumo real como el pronosticado, las emisiones de CO₂ que se hubieran tenido de haber seguido utilizando las calderas de gas natural originales sin el apoyo de la red de calor.

Tabla 631. Estimación del ahorro de emisiones de CO₂ para el Edificio E15.

	kWh_E1 5Gas Natural	kWh_E1 5Biomasa	kWh_E15 Real Total	kWh_E15_ M2 Predicho	kg CO2 Real debido al consumo de Gas Natural	kg CO2 Real debido a Biomasa	kg CO2 Real debido al consumo TOTAL	kg CO2 que se hubiera tenido debido a Gas Natural	Ahorro de kg CO2	Ahorro de kg CO2 acumulado
oct-2015	0	53.000	53.000	53.000	0	1.272	1.272	13.356	12.084	12.084
nov-2015	0	173.200	173.200	173.200	0	4.157	4.157	43.646	39.490	51.574
dic-2015	0	126.100	126.100	126.100	0	3.026	3.026	31.777	28.751	80.324
ene-2016	0	167.500	167.500	167.500	0	4.020	4.020	42.210	38.190	118.514
feb-2016	44.811	224.400	269.211	269.211	11.292	5.386	16.678	67.841	51.163	169.678
mar-2016	9.303	164.700	174.003	174.003	2.344	3.953	6.297	43.849	37.552	207.229
abr-2016	0	122.200	122.200	122.200	0	2.933	2.933	30.794	27.862	235.091
may-2016	11.633	23.400	35.033	35.033	2.932	562	3.493	8.828	5.335	240.426
oct-2016	8.497	28.700	0	0	2.141	689	2.830	0	-2.830	237.596
nov-2016	6.697	186.100	192.797	192.797	1.688	4.466	6.154	48.585	42.431	280.027
dic-2016	4.136	177.400	181.536	181.536	1.042	4.258	5.300	45.747	40.447	320.474
ene-2017	496	283.300	283.796	283.796	125	6.799	6.924	71.517	64.592	385.066
feb-2017	0	205.600	205.600	205.600	0	4.934	4.934	51.811	46.877	431.943
mar-2017	664	169.800	170.464	170.464	167	4.075	4.243	42.957	38.714	470.658
abr-2017	0	53.800	53.800	53.800	0	1.291	1.291	13.558	12.266	482.924
may-2017	0	13.800	0	0	0	331	331	0	-331	482.593
oct-2017	672	8.100	0	0	169	194	364	0	-364	482.229
nov-2017	464	137.100	137.564	137.564	117	3.290	3.407	34.666	31.259	513.488
dic-2017	320	219.700	220.020	220.020	81	5.273	5.353	55.445	50.092	563.579
ene-2018	0	247.100	247.100	247.100	0	5.930	5.930	62.269	56.339	619.918
feb-2018	16	267.200	267.216	267.216	4	6.413	6.417	67.338	60.922	680.840
mar-2018	864	227.000	227.864	227.864	218	5.448	5.666	57.422	51.756	732.596
abr-2018	48	96.300	96.348	96.348	12	2.311	2.323	24.280	21.956	754.552
may-2018	0	26.700	26.700	26.700	0	641	641	6.728	6.088	760.640

Como se observa durante estas tres temporadas se ha obtenido un ahorro total de 761 Toneladas de CO₂, debido al cambio de tipo de energía consumida en el edificio E15.

AV.11.6. Estimación del precio máximo de compra a la red.

Tomando como referencia los precios del gas natural de la Tabla 632 para cada temporada, obtenidos a partir de los datos establecidos en el Capítulo 3, donde se tiene en cuenta el precio por el termino variable y fijo; se puede realizar la estimación del precio máximo de compra de la energía útil a la red de calor para obtener un 0% de ahorro y un 15% de ahorro. La Tabla 633, muestra el precio que se pagaría para un ahorro del 15%

Tabla 632. Precios de referencia para Gas natural y Astilla

Precios (€/kWh)	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,0373	0,0306	0,0314	0,0336
Astilla	0,0277	0,0256	0,0254	0,0239
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 0,0%	0,003176			
€/kWh útiles máximos de compra a la red para un ahorro del 15,0%	0,02753			

Tabla 633. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E15

	kWh_E1_5_Gas Natural	kWh_E15_Biomasa	kWh_E1_5	kWh_E15_M2	€ Real Gas Natural	€ Real Biomasa	€ Real Total	€ predicho Gas natural	€ Ahorro	€ Acumulado
oct-2015	0	53.000	53.000	53.000	0	1.459	1.459	1.977	518	518
nov-2015	0	173.200	173.200	173.200	0	4.768	4.768	6.460	1.692	2.210
dic-2015	0	126.100	126.100	126.100	0	3.472	3.472	4.704	1.232	3.442
ene-2016	0	167.500	167.500	167.500	0	4.611	4.611	5.126	514	3.956
feb-2016	44.811	224.400	269.211	269.211	1.371	6.178	7.549	8.238	689	4.645
mar-2016	9.303	164.700	174.003	174.003	285	4.534	4.819	5.324	506	5.151
abr-2016	0	122.200	122.200	122.200	0	3.364	3.364	3.739	375	5.526
may-2016	11.633	23.400	35.033	35.033	356	644	1.000	1.072	72	5.598
oct-2016	8.497	28.700	0	0	260	790	1.050	0	-1.050	4.548
nov-2016	6.697	186.100	192.797	192.797	205	5.123	5.328	5.900	571	5.119
dic-2016	4.136	177.400	181.536	181.536	127	4.884	5.010	5.555	545	5.664
ene-2017	496	283.300	283.796	283.796	16	7.799	7.815	8.911	1.096	6.760
feb-2017	0	205.600	205.600	205.600	0	5.660	5.660	6.456	796	7.556
mar-2017	664	169.800	170.464	170.464	21	4.675	4.695	5.353	657	8.213
abr-2017	0	53.800	53.800	53.800	0	1.481	1.481	1.689	208	8.421
may-2017	0	13.800	0	0	0	380	380	0	-380	8.041
oct-2017	672	8.100	0	0	21	223	244	0	-244	7.797
nov-2017	464	137.100	137.564	137.564	15	3.774	3.789	4.320	531	8.327
dic-2017	320	219.700	220.020	220.020	10	6.048	6.058	6.909	850	9.178
ene-2018	0	247.100	247.100	247.100	0	6.803	6.803	8.303	1.500	10.678
feb-2018	16	267.200	267.216	267.216	1	7.356	7.357	8.978	1.622	12.300
mar-2018	864	227.000	227.864	227.864	29	6.249	6.278	7.656	1.378	13.677
abr-2018	48	96.300	96.348	96.348	2	2.651	2.653	3.237	585	14.262
may-2018	0	26.700	26.700	26.700	0	735	735	897	162	14.424
€ Total							96.379	110.803		
Ahorro (%)										15,0%

BIBLIOGRAFÍA

- Abghari, S., García-Martín, E., Johansson, C., Lavesson, N., & Grahn, H. (2017). Trend Analysis to automatically identify heat program changes. *Energy Procedia*, 116, 407-415. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.088.
- Adobe Experience Cloud Help. (s.f.). *Nivel de confianza e intervalo de confianza*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de https://marketing.adobe.com/resources/help/es_ES/rec/c_Confidence_Level_and_Confidence_Interval.html
- AENOR. Asociación Española de Normalización. (2009). *UNE-EN ISO 15927-6:2009. Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 6: Diferencias acumuladas de temperatura (en grados por día). (ISO 15927-6:2007)*. Recuperado el 1 de noviembre de 2018, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0043434>
- AENOR. Asociación Española de Normalización. (2018). *UNE-EN ISO 50001:2018. Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 50001:2018)*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0060594>
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética. AchEE. (Abril de 2014). *Guía de Apoyo al Desarrollo de Diagnósticos Energéticos para Instituciones de Educación Superior (IES)*. Recuperado el 7 de Febrero de 2019, de http://www.pucv.cl/uuaa/site/artic/20160701/asocfile/20160701115559/gu_a_a_poyo_al_desarrollo_de_diagn_sticos_energ_ticos_para_ies_achee_.pdf
- Ahmad, M., Mourshed, M., Mundow, D., Sisinni, M., & Rezgui, Y. (2016). Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research. *Energy and Building*, 120, 85-102. doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.059.
- Amaral, A., Rodrigues, E., Rodrigues Gaspar, A., & Gomes, A. (2018). Review on performance aspects of nearly zero-energy districts. *Sustainable Cities and Society*(43), 406-420. doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.039.
- Andric, I., Pina, A., Ferrào, P., Fournier, J., Lacarriere, B., & Le Corre, O. (2017). Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor temperature function for a long-

- term district heat demand forecast. *Energy Procedia*, 116, 460-469. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.093.
- Anta, J. (13 de septiembre de 2017). *De paseo por el Campus Universitario*. Recuperado el 21 de noviembre de 2018, de <https://jesusantaroca.wordpress.com/2017/09/13/de-paseo-por-el-campus-universitario/>
- Antunez, C. (s.f.). *Tablas Estadísticas para Econometría*. Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/tablas-estadisticas-econometria/tablas-estadisticas-econometria.pdf>
- Aranda, A., Ferreira, G., Mainar-Toledo, M., Scarpellini, S., & Llera Sastresa, E. (2012). Multiple regression models to predict the annual energy consumption in the Spanish banking sector. *Energy and Buildings*, 49, 380–387, doi:10.1016/J.ENBUILD.2012.02.040.
- Arregi, B., & Garay, R. (2017). Regression analysis of the energy consumption of tertiary buildings. *Energy Procedia*, 122, 9–14, doi:10.1016/J.EGYPRO.2017.07.290.
- ASHRAE. (2014). *Guideline 14-2014 -- Measurement of Energy, Demand, and Water Savings*. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de https://www.techstreet.com/ashrae/standards/guideline-14-2014-measurement-of-energy-demand-and-water-savings?gateway_code=ashrae&product_id=1888937
- Asociación de Empresas de Eficiencia Energética. A3e. (2015). *Curso de Auditor Energético en la Edificación. Volumen III*. Madrid.
- Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío ADHAC. (2018). *Censo de redes de Calor y Frío*. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de http://www.adhac.es/Priv/ClientsImages/AsociacionPerso8_1540226118.pdf
- Atalla, T., Gualdi, S., & Lanza, A. (2018). A global degree days database for energy-related applications. *Energy*, 143, 1048–1055, doi:10.1016/j.energy.2017.10.134.
- Averfalk, H., & Werner, S. (2017). Essential improvements in future district heating systems. *Energy Procedia*, 116, 217-225. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.069.
- Belsley, D., Kuh, E., & Welsch, R. (2005). *Regression diagnostics: Identifying influential data and sources of collinearity* (Vol. ISBN 97804711058564. DOI:10.1002/0471725153). New York: 1980 John Wiley & Sons.
- Bilous, I., Deshko, V., & Sukhodub, I. (2018). Parametric analysis of external and internal factors influence on building energy performance using non-linear multivariate regression models. *Journal of Building Engineering*, 20, 327–336, doi:10.1016/J.JOBE.2018.07.021.
- BP. (Junio de 2018). *BP Statistical Review of world Energy. June 2018. 67th Edition*. Recuperado el 19 de Octubre de 2018, de <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>

- Bromley, M. (21 de diciembre de 2009). *Degree Days. Understanding Heating and Cooling Degree Days*. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de https://www.degreedays.net/introduction#Why_are_heating_degree_days_useful
- Bush, R., & Bale, C. (2017). The role of intermediaries in the transition to district heating. *Energy Procedia. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling.*, 116, 490-499. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.098.
- Bush, R., Bale, C., & Taylor, P. (2016). Realising local government visions for developing district heating: Experiences from a learning country. *Energy Policy*, 98, 84-96. doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.013.
- Cano Herrador, C., Valbuena García, F., Muñoz Martín, J., Rey Martínez, F., & Navas Gracia, L. (2014). *Calefacción de distrito urbana con biomasa de la Universidad de Valladolid. Objetivo 20/20/20*. Recuperado el 24 de octubre de 2018, de <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896712037.pdf>
- Capítulo 18. *Análisis de regresión lineal. El procedimiento de Regresión lineal. Guía SPSS*. (s.f.). Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/GuiaSPSS/18reglin.pdf>
- Castro Flores, J., Lacarriere, B., Chiu, J., & Martín, V. (2017). Assessing the techno-economic impact of low temperatures subnets in conventional district heating networks. *Energy Procedia*, 116, 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.073>.
- Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética (ENERGYLAB). (8 de octubre de 2014). *Metodología para abordar un Proyecto de EE: "Potocolor de Medida y Verificación de Ahorros Energéticos IPMVP"*. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/14-10-08_Jornada%20sobre%20HERRAMIENTAS%20DE%20GESTION%20DE%20LA%20ENERGIA/04-METODOLOGIA-PARA-ABORDAR-UN-PROYECTO-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA-IPMVP-fenercom-2014
- Comisión Europea. (2016). *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité económico y social Europeo y al Comité de las Regiones. Estrategia de la UE relativa a la calefacción y la refrigeración*. Recuperado el 23 de octubre de 2018, de <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/ES/1-2016-51-ES-F1-1.PDF>
- Commission to the European Parliament. (10 de octubre de 2017). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Energy Roadmap 2050*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52011DC0885>
- Consejo de Ministros. Gobierno de España. (2011). *Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020*. Madrid.

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (noviembre de 2007). *Unidos por el clima*. Recuperado el 17 de octubre de 2018, de https://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate_spa.pdf
- Cruz Ramírez, A. P. (s.f.). *Pruebas de Hipótesis para una muestra*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de <https://www.monografias.com/trabajos30/prueba-de-hipotesis/prueba-de-hipotesis.shtml>
- De Rosa, M., Bianco, V., Scarpa, F., & Tagliafico, L. (2014). Heating and cooling building energy demand evaluation; A simplified model and a modified degree days approach. *Applied Energy*, *128*, 217–229, 10.1016/j.apenergy.2014.04.067.
- Delmastro, C., Mutani, G., & Schranz, L. (2015). Advantages of Coupling a Woody Biomass Cogeneration Plant with a District Heating Network for a Sustainable Built Environment: A Case Study in Luserna San Giovanni (Torino, Italy). *Energy Procedia*, *78*, 794–799, doi:10.1016/J.EGYPRO.2015.11.102.
- DHC Technology Platform. (Marzo de 2012). *District Heating and Cooling. A vision towards 2020-2030-2050*. Recuperado el 24 de octubre de 2018, de <https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/DHC-Vision-for-DHC-2012.pdf>
- Díaz, T. (2 de febrero de 2016). *España, el octavo país de la UE con más dependencia energética*. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de El Economista.es: <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/7331172/02/16/Espana-el-octavo-pais-de-la-UE-con-mas-dependencia-energetica-.html>
- Dirección General de Política Energética y Minas. (31 de diciembre de 2016). *Resolución de 29 de diciembre de 2016, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural*. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-12600
- Dirección General de Política Energética y Minas. (30 de marzo de 2017). *Resolución de 24 de marzo de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural*. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-3412
- Dirección General de Política Energética y Minas. (29 de septiembre de 2017). *Resolución de 25 de septiembre de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural*. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-11062
- Dirección General de Política Energética y Minas. (28 de diciembre de 2017). *Resolución de 26 de diciembre de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural*. Recuperado el 06

- de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-15610
- Dirección General de Política Energética y Minas. (29 de junio de 2017). *Resolución de 28 de junio de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural*. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-7484
- Dirección General de Política Energética y Minas. (31 de marzo de 2018). *Resolución de 22 de marzo de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural*. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-4437
- Dirección General de Política Energética y Minas. (29 de septiembre de 2018). *Resolución de 25 de septiembre de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural*. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-13190
- Dirección General de Política Energética y Minas. (30 de junio de 2018). *Resolución de 28 de junio de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural*. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de <https://www.boe.es/boe/dias/2018/06/30/pdfs/BOE-A-2018-9035.pdf>
- Dorotić, H., Pukšec, T., & Duić, N. (2018). Multi-objective optimization of district heating and cooling systems for a one-year. *Energy*, Available online 30 November 2018. doi:10.1016/j.energy.2018.11.149.
- Efficiency Valuation Organization (EVO). (Septiembre de 2010). *Protocolo Internacional de Medida y Verificación. Volumen 1*. Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <http://old.acee.cl/?q=system/files/IPMVP%202010%20-%20Volumen%20I%20-%20Espa%C3%B1ol.pdf>
- Efficiency Valuation Organization (EVO). (Junio de 2014). *International Performance Measurement and Verification Protocol. Core Concepts*. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de http://www.minimiseusa.com/images/Core%20Concepts%20%20EVO%20IPMVP%202014_Dec2014-3.pdf
- El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (5 de junio de 2009). *DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2009/140/L00016-00062.pdf>
- El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (18 de junio de 2010). *DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de*

- mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>
- El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (14 de noviembre de 2012). *DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>
- El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (19 de junio de 2018). *DIRECTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2018/156/L00075-00091.pdf>
- Encinas, A.G. (9 de enero de 2017). La UVA completa el campus Miguel Delibes 20 años después. *El Norte de Castilla*, págs. <https://www.elnortedecastilla.es/valladolid/201701/09/completa-campus-miguel-delibes-20170106200628.html>. Obtenido de <https://www.elnortedecastilla.es/valladolid/201701/09/completa-campus-miguel-delibes-20170106200628.html>
- Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). Junta de Castilla y León. (2016). *Estrategia de Eficiencia Energética de Castilla y León 2016-2020. EEE-CyL-2016/2020*. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de https://energia.jcyl.es/web/jcyl/Energia/es/Plantilla100/1284777945631/_/_/_
- EOI. Escuela de Organización Industrial. (15 de Noviembre de 2015). *Master en Energías Renovables y Mercado Energético*. Recuperado el 9 de marzo de 2019, de <https://www.eoi.es/blogs/merme/energia-primaria-transformacion-y-consumos-en-espana-evolucion-global-de-la-demanda-de-energia/>
- Ericsson, K., & Werner, S. (2016). The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. *Biomass Bioenergy*, 94, 57–65, doi:10.1016/J.BIOMBIOE.2016.08.011.
- Euronet. (s.f.). *Euronet 50-50 max*. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de Herramientas para el cálculo de Ahorros Energéticos: <http://www.euronet50-50max.eu/es/energy-savings-calculation-tool?id=51>
- Europa Press. (28 de 07 de 2011). *El IBGM de Valladolid cuenta con un microscopio confocal con características únicas en España*. Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de <https://www.europapress.es/castilla-y-leon/noticia-ibgm-valladolid-cuenta-microscopio-confocal-caracteristicas-unicas-espana-20110728124656.html>
- Europa Press. (27 de enero de 2017). *Castilla y León, Quinta CCAA con más emisiones de CO2 del país*. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de

- <https://www.europapress.es/castilla-y-leon/noticia-cyl-quinta-ccaa-mas-emisiones-co2-pais-20170127175102.html>
- European Parliament. (19 de Julio de 2018). *Effort sharing regulation, 2021-2030 Limiting Member States' carbon emissions*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/589799/EPRS_BRI\(2016\)589799_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/589799/EPRS_BRI(2016)589799_EN.pdf)
- Eurostat. (2 de septiembre de 2015). *España es el país europeo que más aumentó sus emisiones de CO2 desde 1990*. Recuperado el 19 de 10 de 2018, de Troposfera: <http://www.troposfera.org/news/11659/39/Eurostat-Espana-es-el-tercer-pais-europeo-que-mas-aumento-sus-emisiones-de-CO2-desde-1990/>
- Eurostat. (mayo de 2018). *Estadísticas de los precios del gas natural*. Recuperado el 2 de diciembre de 2018, de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_price_statistics/es#Precios_del_gas_natural_para_consumidores_no_dom.C3.A9sticos
- Eurostat. (2018). *What kind of energy do we consume in the EU?* Recuperado el 16 de octubre de 2018, de <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-3a.html>
- EVO, E. V. (2014). *International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP)*. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>
- Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP). (2011). *Eficiencia Energética en dependencias municipales*. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <http://www.redciudadesclima.es/sites/default/files/97a9d2195549da7f51cd21c7a4ffec7a.pdf>
- Federación Española de Municipios y Provincias. FEMP. (2011). *Climatización Urbana en las ciudades españolas*. Recuperado el 10 de marzo de 2019, de <http://www.redciudadesclima.es/sites/default/files/b7e75a5a739b40b44fc98ecaa533842.pdf>
- Ferreira, A., Ferreira, A., Cardin, O., & Leitao, P. (2015). Extension of holonic paradigm to smart grids. *IFAC PapersOnLine*, 48-3, 1099-1104. doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.230.
- Fumo, N., & Rafe Biswas, M. (2015). Regression analysis for prediction of residential energy consumption. *Renew. Sustain. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 332–343, doi:10.1016/J.RSER.2015.03.035.
- Fundación General de la Universidad de Valladolid. (FUNGE). (s.f.). *Apartamentos Cardenal Mendoza*. Recuperado el 11 de noviembre de 2018, de <http://funge.uva.es/residencias-universitarias/apartamentos-cardenal-mendoza/>
- Gaoa, L., Cuia, X., Nia, J., Leib, W., Huangb, T., Baib, C., & Yanga, J. (2017). Technologies in Smart District Heating System. *Energy Procedia*, 142, 1829-1834. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.571.

- Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. ADHAC. (abril de 2011). *Guía Básica de Redes de Distrito de Calor y Frío*. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_20110502_Guia_Basica_Redes_de_Calor_y_de_Frio_ES_5e18b14a.pdf
- Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. ADHAC. (Mayo de 2012). *Guía integral de desarrollo de proyectos de redes de distrito de calor y frío*. Recuperado el 23 de octubre de 2018, de http://www.adhac.es/priv/clientsimages/asociacionperso6_1338538783.pdf
- Golden, A., Woodbury, K., Carpenter, J., & O'Neill, Z. (2017). Change point and degree day baseline regression models in industrial facilities. *Energy and Buildings*, *144*, 30–41, doi:10.1016/j.enbuild.2017.03.024.
- Good, N., Martínez Ceseña, E. A., & Mancarella, P. (2017). Ten questions concerning smart districts. *Building and Environment*, *118*, 362-376. doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.037.
- Granderson, J., & Price, P. (2014). Development and application of a statistical methodology to evaluate the predictive accuracy of building energy baseline models. *Energy*, *66*, 981-990. doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.074.
- Hanna, R., Ghonima, M., Kleissl, J., Tynan, G., & Victor, D. (2017). Evaluating business models for microgrids: Interactions of technology and policy. *Energy Policy*, *103*, 47-61. doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.010.
- Howell, S., Rezgui, Y., Hippolyte, J., Jayan, B., & Li, H. (2017). Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multiagent management of distributed energy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *77*, 193-214. doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.107.
- Huerta, M., Portela, J., & Pastor, A. (2010). *Calefacción urbana o de distrito, ¿un sistema energéticamente más sostenible?* Recuperado el 31 de octubre de 2018, de XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica: <https://docplayer.es/6804813-Calefaccion-urbana-o-de-distrito-un-sistema-energeticamente-mas-sostenible.html>
- IBM. (2011). IBM SPSS Statistics Software. (V20). Obtenido de IBM SPSS Software. Available online: <https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software> (accessed
- IDAE. (16 de julio de 2011). *Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe final*. Recuperado el 29 de septiembre de 2018, de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_AC_C_f68291a3.pdf
- IDAE. Dirección de Energías Renovables. Departamento de Biomasa y Residuos. (20 de noviembre de 2018). *Informe de Precios de la Biomasa para Usos Térmicos. Datos*

- correspondientes al 2º Trimestre de 2018*. Recuperado el 5 de diciembre de 2018, de http://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/informe_precios_biomasa_usos_termicos_2t_2018.pdf
- InfoRiego. (s.f.). *Datos Agroclimáticos*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de http://www.inforiego.org/opencms/opencms/info_meteo/construir/index.html
- Internacional Energy Agency (IEA). (2016). *World Energy Outlook. 2016*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://webstore.iea.org/download/direct/202?fileName=WEO2016.pdf>
- Internacional Energy Agency (IEA). (2017). *Market Report Series: Energy Efficiency 2017. Analysis and Forecasts to 2022*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://webstore.iea.org/download/direct/160>
- Internacional Energy Agency (IEA). (2017). *World Energy Outlook 2017. Executive Summary*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.iea.org/Textbase/npsum/weo2017SUM.pdf>
- International Energy Agency (IEA). (2017). *World energy balances. Overview 2017 edition*. Recuperado el 13 de octubre de 2018, de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyBalances2017Overview.pdf>
- International Energy Agency (IEA). (March de 2018). *Global Energy & CO2 Status Report 2017*. Recuperado el 17 de octubre de 2018, de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GECO2017.pdf>
- Khabdullin, A., Khabdullina, Z., Khabdullina, G., Lauka, D., & Blumberga, D. (2017). Demand response analysis methodology in district heating system. *Energy Procedia*, 128, 539-543. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.004.
- Kim, J., & Weidlich, I. (2017). Identification of Individual District Heating Network Conditions using Equivalent Full Load Cycles. *Energy Procedia*, 116, 343-350. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.081.
- Kolokotsa, D. (2016). The role of smart grids in the building sector. *Energy and Building*, 116, 703-708. doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.033.
- La Comisión Europea. (2 de agosto de 2016). *Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión de 29 de julio de 2016 para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de fin de 2020 todos los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2016/208/L00046-00057.pdf>
- Laakkonen, L., Korpela, T., Kaivosoja, J., Vilkkko, M., Majanne, Y., & Nurmoranta, M. (2017). Predictive supply Temperature Optimization of district Heating Networks Using Delay Distributions. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 297-309. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.076.

- Lake, A., Rezaie, B., & Beyerlein, S. (2017). Review of district heating and cooling systems for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 417-425. doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.061.
- Lara, S. (2017). *Análisis del funcionamiento de la Red de calefacción centralizada "Universidad de Valladolid"*. Escuela de Ingenierías Industriales. UVA.
- Lee, J., Kim, H., & Im, S. (2017). Comparative Analysis between District Heating and Geothermal Heat Pump System. *Energy Procedia*, 116, 403-406, doi:10.1016/J.EGYPRO.2017.05.087.
- Liang, X., Hong, T., & Qiping Shen, G. (2016). Improving the accuracy of energy baseline models for commercial buildings with occupancy data. *Applied energy*, 179, 247-260. doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.141.
- Lissardy, G. (17 de noviembre de 2017). *El origen del misterioso vapor que sale del pavimento en las calles de Nueva York (y por qué es tan importante para la ciudad)*. Recuperado el 24 de octubre de 2018, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-41911000>
- Lorenzo, S. (29 de marzo de 2017). *Red de calor urbana con biomasa forestal de la Universidad de Valladolid*. Recuperado el 6 de noviembre de 2018, de http://www.life-opere.org/sites/default/files/jornada_final_opere_serpio_lorenzo.pdf
- Lund, H., Alberg-Ostergaard, P., Chang, M., Werner, S., Svendsen, S., Sorknæs, P., . . . Möller, B. (2018). The status of 4th generation district heating: Research and results. *Energy*, 164, 147-159. doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206.
- Lund, H., Duic, N., Alberg-Ostergaard, P., & Mathiesen, B. (2018). Future district heating systems and technologies: On the role of smart energy systems and 4th generation district heating. *Energy*, 165. Part A, 614-619. doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.115.
- Lund, H., Möller, B., Mathiesen, B., & Dyrelund, A. (2010). The role of district heating in future renewable energy systems. *Energy*, 35, 1381-1390. doi.org/10.1016/j.energy.2009.11.023.
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Vad Mathiesen, B. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1-11. doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089.
- Mahía, R. (marzo de 2010). *Conceptos básicos sobre la Autocorrelación en el modelo básico de regresión lineal*. Recuperado el octubre 28 de 2018, de https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/rarce/pdf/autocorrel.pdf
- Mártel, I. (17 de noviembre de 2014). *Consumo y derroche de energía en el planeta: ¿podemos resistir?* Recuperado el 15 de octubre de 2018, de <https://blogs.publico.es/econonuestra/2014/11/17/consumo-y-derroche-de-energia-en-el-planeta-podemos-resistir/>

- Mazhar, A., Liu, S., & Shukla, A. (2018). A state of art review on the district heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 420-439. doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.005.
- Meng, Q., & Mourshed, M. (2017). Degree-day based non-domestic building energy analytics and modelling should use building and type specific base temperatures. *Energy and Buildings*, 155, 260–268, doi:10.1016/j.enbuild.2017.09.034.
- Mertz, T., Serra, S. H., Reneaume, & J.M. (2017). A MINLP optimization of the configuration and the design of a district heating network: study case on an existing site. *Energy Procedia*, 116, 236-248. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.071.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. (marzo de 2018). *Inventario Nacional de emisiones a la atmósfera. Emisiones de gases de efecto invernadero. Serie 1990-2016. Informe Resumen*. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/documentoresumeninventariogei_tcm30-444543.pdf
- Ministerio de Agricultura y Pesca, alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA. (2016). *Objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero*. Recuperado el 11 de enero de 2017, de <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx#>
- Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España. (26 de abril de 2017). *Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_neeap_2017_es.pdf
- Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España. (enero de 2018). *La Energía en España. 2016*. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de <https://ceiden.com/wp-content/uploads/2018/01/La-Energ%C3%ADa-en-Espa%C3%B1a-2016.pdf>
- Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2017). *ERESEE 2017. Actualización 2017 de la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España*. Recuperado el 29 de septiembre de 2018, de https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/pdf/24003A4D-449E-4B93-8CA5-7217CFC61802/143398/20170524REVISIONESTRATEGIA.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO). Gobierno de España. (Febrero de 2019). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*. Recuperado el 9 de marzo de 2019, de https://www.miteco.gob.es/images/es/documentoresumendelborradorplannacionalintegradodeenergiayclima2021-2030_tcm30-487
- Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España. (2018). *Emisiones de gases de efecto invernadero en España*. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de

- <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/emisiones.aspx>
- Ministerios de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento. (20 de julio de 2014). *Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf
- Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos*. México: McGraw-Hill. Interamericana de México. ISBN: 9701056299.
- Nord, N., Schmidt, D., & Dagmar, A. (2017). Necessary Measures to Include more Distributed renewable energy Sources into District Heating System. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 48-57. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.054.
- Pavicevic, M., Novosel, T., Puksec, T., & Duic, N. (2017). Hourly optimization and sizing of district heating systems considering building refurbishment - Case study for the city of Zagreb. *Energy*, 137, 1264-1276. doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.105.
- Permai, S., & Tanty, H. (2018). Linear regression model using bayesian approach for energy performance of residential building. . *Procedia Computer Science*, 135, 671-677, doi:10.1016/J.PROCS.2018.08.219.
- Persson, U., & Münster, M. (2016). Current and future prospects for heat recovery from waste in European district heating systems: A literature and data review. *Energy*, 110, 116-128. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.074>.
- Poquet, R., Sastre, J., & Crespo, F. (2014). *Eficiencia energética: como evitar errores estadísticos en la Medida y Verificación* (Primera ed., Vols. ISBN: 978-84-16048-80-9). Valencia: Obrapropia.
- PREFIERES. Portal de Eficiencia y Rehabilitación. (11 de enero de 2016). *District Heating en la UVa*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.prefieres.es/district-heating-en-la-uva#>
- Prieto, P. (20 de noviembre de 2011). *Crece o decrece: That is the question*. Recuperado el 13 de octubre de 2018, de Tlaxcala: <http://www.tlaxcala-int.org/article.asp?reference=6256>
- Quiquerez, L., Lachal, B., Monnard, M., & Faessler, J. (2017). The role of district heating in achieving sustainable cities: comparative analysis of different heat scenarios for Geneva. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 78-90. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.057.
- Rämä, M., & Sipila, K. (2017). Transition to low temperature distribution in existing systems. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 58-68. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.055.

- Ramalle Gómara, E., & Andrés de Llano, J. (2003). Utilización de métodos robustos en la estadística inferencial. *Aten Primaria*, 32 (3), 177-182.
- REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2017). *Avanzando en la transición mundial hacia la energía renovable*. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/07/17-8399_GSR_2017_KEY-FINDINGS_Spanish_lowres.pdf
- Reynolds, J., Rezgui, Y., & Hippolyte, J. L. (2017). Upscaling energy control from building to districts: Current limitations and future perspectives. *Sustainable Cities and Society*, 35, 816-829. doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.012.
- Roth, J., & Rajagopal, R. (2018). Benchmarking building energy efficiency using quantile regression. *Energy*, 152, 866–876, doi:10.1016/J.ENERGY.2018.02.108.
- Sakamoto, T., Takase, K., Matsushashi, R., & Managi, S. (2016). Baseline of the projection under a structural change in energy demand. *Energy Policy*, 98, 274-289. doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.035.
- Sandvall, A., Ahlgren, E., & Ekvall, T. (2017). Cost-efficiency of urban heating strategies—Modelling scale effects of low-energy building heat supply. *Energy Strateg Reviews*, 18, 212–223, doi:10.1016/J.ESR.2017.10.003.
- Sathayea, J., Murtishawa, S., Pricea, L., Lefrancb, M., Royc, J., Winklerd, H., & Spalding-Fecherd, R. (2004). Multiproject baselines for evaluation of electric power projects. *Energy Policy*, 32, 1303-1317. doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00098-3.
- Sayegh, M., Danielewicz, J., Nannou, T., Miniewicz, M., Jadwiszczak, P., Piekarska, K., & Jouhara, H. (2017). Trends of European research and development in district heating technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, Part 2, 1183-1192. doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.023.
- Schmidt, D., Kallert, A., Blesl, M., Svendsen, S., Li, H., Nord, N., & Sipila, K. (2017). Low Temperature District Heating for Future. *Energy Systems. Energy Procedia*, 116, 26-38. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.052.
- Scott Armstrong, J. (2012). *Illusions in Regression Analysis*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de International Journal of Forecasting: http://www.academia.edu/1105970/Illusions_in_Regression_Analysis
- Secretariado de REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2016). *Energías Renovables 2016. Reporte de la situación mundial. Hallazgos Clave 2016. ISBN 978-3-9818107-3-8*. París.
- Sede Electrónica del Catastro. (s.f.). *Consulta y certificación de Bien Inmueble*. Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de <https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCConCiud.aspx?del=47&mun=900&UrbRus=U&RefC=7734733UM5173D0001FK&Apenom=&esBice=&RCBice1=&RCBice2=&DenoBice=&from=nuevoVisor>
- Strachan, N. (2011). Business-as-Unusual: Existing policies in energy model baselines. *Energy Economics*, 33, 153-160. doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.009.

- Trejo, A. (s.f.). *Inferencia estadística*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de <https://slideplayer.es/slide/1610760/>
- Tsolar. (23 de junio de 2018). *Kioto-Paría. Evolución de emisiones GEI en España*. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de <http://tsolar.com.es/blog/post/kioto-paris-evolucion-de-emisiones-gei-en-espana>
- Ulseth, R., Byskov, K., Georges, L., Justo, M., & Utne, A. (2017). Measured load profiles and heat use for "low energy buildings" with heat supply from district heating. *Energy Procedia*, 116, 180-190. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.066.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2015). *District Energy in Cities. Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy*. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9317/-District_energy_in_cities_unlocking_the_potential_of_energy_efficiency_and_renewable_ene.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Universidad de Cádiz (UCA). (s.f.). *Regresión simple y múltiple*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de http://www.uca.edu.sv/matematica/upload_w/file/REGRESION%20SIMPLE%20Y%20MULTIPLE.pdf
- Universidad de Jaén. (s.f.). *Capítulo 9. Regresión lineal simple*. Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <http://www4.ujaen.es/~dmontoro/Metodos/Tema%209.pdf>
- Universidad de Sevilla. (s.f.). *Estadístico de contraste*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de http://ocwus.us.es/metodos-de-investigacion-y-diagnostico-en-educacion/analisis-de-datos-en-la-investigacion-educativa/Bloque_II/page_59.htm/
- Universidad de Valladolid (UVA). (2018). *Historia de la Facultad de Comercio de Valladolid*. Recuperado el 22 de noviembre de 2018, de <http://www2.emp.uva.es/index.php/historia-de-la-facultad-de-comercio-de-valladolid/>
- Universidad de Valladolid (UVA). (s.f.). *Relación de bienes inmuebles de la Universidad de Valladolid*. Recuperado el 21 de noviembre de 2018, de http://portaldetransparencia.uva.es/_documentos/Relacion-de-Inmuebles-2018.pdf
- Universidad de Valladolid (UVA), Junta de Castilla y León, Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente (SOMACyL). (29 de octubre de 2015). *Red Calor UVA*. (Mundimag Audiovisual) Recuperado el 4 de noviembre de 2018, de https://www.youtube.com/watch?v=glaHMyDns_c
- Universidad de Valladolid. (s.f.). *Apartamentos Cardenal Mendoza*. Recuperado el 11 de noviembre de 2018, de <http://www.uva.es/export/sites/uva/6.vidauniversitaria/6.13.alojamientos/6.13.01.cardenalmendoza/index.html>

- UPONOR. (s.f.). *Guía de microrredes de distrito de calor y frío. Edición I*. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de https://www.google.com/search?client=firefox-b&ei=NevNW7GKGYL4adPAjoAD&q=Gu%C3%ADa+de+microrredes+de+distrito+de+calor+y+fr%C3%ADo.+Edici%C3%B3n+I.&oq=Gu%C3%ADa+de+microrredes+de+distrito+de+calor+y+fr%C3%ADo.+Edici%C3%B3n+I.&gs_l=psy-ab.12...25912318.259
- Van Deventer, J., Derhamy, H., Atta, K., & Delsing, J. (2017). Service Oriented Architecture enabling the 4th Generation of District Heating. *Energy Procedia*, *116*, 500-509. doi:10.1016/J.EGYPRO.2017.05.096.
- Vanhoudt, D., Claessens, B., Desmedt, J., & Johansson, C. (2017). Status of the Horizon 2020 Storm Project. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, *116*, 170-179. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.065.
- Verbai, Z., Lakatos, A., & Kalmár, F. (2014). Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day. *Energy*, *76*, 780-787. doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.075.
- Wahlroos, M., Pärssinen, M., Manner, J., & Syri, S. (2017). Utilizing data center waste heat in district heating e Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks. *Energy*, *140*, 1228-1238. doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.078.
- Werner, S. (2017). District heating and cooling in Sweden. *Energy*, *126*, 419-429. doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.052.
- Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. *Energy*, *137*, 617-631. doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045.
- Winterscheid, C, Holler, S., & Dalenbäck, J.-O. (2017). Integration of solar thermal systems into existing district heating systems. *Energy Procedia*, *116*, 158-169. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.159>.
- Winterscheid, C., Dalenbäck, J., & Holler, S. (2017). Integration of solar thermal systems in existing district heating systems. *Energy*, *137*, 579-585. doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.159.
- Wojdyga, K., & Chorzelski, M. (2017). Chances for polish heating systems. *Energy Procedia*, *116*, 106-118. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.059.
- Wouters, C. (2015). Towards a regulatory framework for microgrids-The Singapore experience. *Sustainable Cities and Society*, *15*, 22-32. doi.org/10.1016/j.scs.2014.10.007.
- Ziemele, J., Gravelins, A., Blumberga, A., & Blumberga, D. (2016). The effect of energy efficiency improvements on the development of 4th generation district heating. *Energy Procedia*, *95*, 522-527. doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.079.

Bibliografía

REFERENCIAS

1. Prieto, P. (20 de noviembre de 2011). *Crecer o decrecer: That is the question*. Recuperado el 13 de octubre de 2018, de Tlaxcala: <http://www.tlaxcala-int.org/article.asp?reference=6256>
2. BP. (Junio de 2018). BP Statistical Review of world Energy. June 2018. 67th Edition. Recuperado el 19 de Octubre de 2018, de <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
3. International Energy Agency (IEA). (2017). World energy balances. Overview 2017 edition. Recuperado el 13 de octubre de 2018, de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyBalances2017Overview.pdf>
4. Díaz, T. (2 de febrero de 2016). España, el octavo país de la UE con más dependencia energética. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de El Economista.es: <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/7331172/02/16/Espana-el-octavo-pais-de-la-UE-con-mas-dependencia-energetica-.html>
5. Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). Junta de Castilla y León. (2016). Estrategia de Eficiencia Energética de Castilla y León 2016-2020. EEE-CyL-2016/2020. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de <https://energia.jcyl.es/web/jcyl/Energia/es/Plantilla100/1284777945631/ / />
6. Eurostat. (2018). What kind of energy do we consume in the EU? Recuperado el 16 de octubre de 2018, de <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-3a.html>
7. Mártil, I. (17 de noviembre de 2014). Consumo y derroche de energía en el planeta: ¿podemos resistir? Recuperado el 15 de octubre de 2018, de <https://blogs.publico.es/econonuestra/2014/11/17/consumo-y-derroche-de-energia-en-el-planeta-podemos-resistir/>
8. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2017). ERESEE 2017. Actualización 2017 de la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España. Recuperado el 29 de septiembre de 2018, de

- https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/pdf/24003A4D-449E-4B93-8CA5-7217CFC61802/143398/20170524REVISIONESTRATEGIA.pdf
9. IDAE. (16 de julio de 2011). Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe final. Recuperado el 29 de septiembre de 2018, de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf
 10. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (noviembre de 2007). Unidos por el clima. Recuperado el 17 de octubre de 2018, de https://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate_spa.pdf
 11. Secretariado de REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2016). Energías Renovables 2016. Reporte de la situación mundial. Hallazgos Clave 2016. ISBN 978-3-9818107-3-8. París.
 12. International Energy Agency (IEA). (March de 2018). Global Energy & CO2 Status Report 2017. Recuperado el 17 de octubre 2018, de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GECO2017.pdf>
 13. Ministerio de Agricultura y Pesca, alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA. (2016). Objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Recuperado el 11 de enero de 2017, de <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx#>
 14. Eurostat. (2 de septiembre de 2015). España es el país europeo que más aumentó sus emisiones de CO2 desde 1990. Recuperado el 19 de 10 de 2018, de Troposfera: <http://www.troposfera.org/news/11659/39/Eurostat-Espana-es-el-tercer-pais-europeo-que-mas-aumento-sus-emisiones-de-CO2-desde-1990/>
 15. Tsolar. (23 de junio de 2018). Kioto-Paría. Evolución de emisiones GEI en España. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de <http://tsolar.com.es/blog/post/kioto-paris-evolucion-de-emisiones-gei-en-espana>
 16. Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España. (2018). Emisiones de gases de efecto invernadero en España. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/emisiones.aspx>
 17. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. (marzo de 2018). Inventario Nacional de emisiones a la atmósfera. Emisiones de gases de efecto invernadero. Serie 1990-2016. Informe Resumen. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/documentoresumeninventariogei_tcm30-444543.pdf

18. European Parliament. (19 de Julio de 2018). Effort sharing regulation, 2021-2030 Limiting Member States' carbon emissions. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/589799/EPRS_BRI\(2016\)589799_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/589799/EPRS_BRI(2016)589799_EN.pdf)
19. Europa Press. (27 de enero de 2017). Castilla y León, Quinta CCAA con más emisiones de CO2 del país. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de <https://www.europapress.es/castilla-y-leon/noticia-cyl-quinta-ccaa-mas-emisiones-co2-pais-20170127175102.html>
20. Internacional Energy Agency (IEA). (2017). World Energy Outlook 2017. Executive Summary. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.iea.org/Textbase/npsum/weo2017SUM.pdf>
21. Internacional Energy Agency (IEA). (2016). World Energy Outlook. 2016. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://webstore.iea.org/download/direct/202?fileName=WEO2016.pdf>
22. Internacional Energy Agency (IEA). (2017). Market Report Series: Energy Efficiency 2017. Analysis and Forecasts to 2022. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://webstore.iea.org/download/direct/160>
23. El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (19 de junio de 2018). DIRECTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2018/156/L00075-00091.pdf>
24. Commission to the European Parliament. (10 de octubre de 2017). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Energy Roadmap 2050. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52011DC0885>
25. El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (5 de junio de 2009). DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2009/140/L00016-00062.pdf>
26. El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (18 de junio de 2010). DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>

27. El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (14 de noviembre de 2012). DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>
28. La Comisión Europea. (2 de agosto de 2016). Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión de 29 de julio de 2016 para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de fin de 2020 todos los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de <https://www.boe.es/doue/2016/208/L00046-00057.pdf>
29. REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2017). Avanzando en la transición mundial hacia la energía renovable. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/07/17-8399_GSR_2017_KEY-FINDINGS_Spanish_lowres.pdf
30. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España. (26 de abril de 2017). Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_neeap_2017_es.pdf
31. Consejo de Ministros. Gobierno de España. (2011). Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020. Madrid.
32. Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO). Gobierno de España. (Febrero de 2019). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. Recuperado el 9 de marzo de 2019, de https://www.miteco.gob.es/images/es/documentoresumendelborradorplannaciona/integradodeenergiayclima2021-2030_tcm30-487
33. Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. ADHAC. (abril de 2011). Guía Básica de Redes de Distrito de Calor y Frío. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_20110502_Guia_Basica_Reddes_de_Calor_y_de_Frio_ES_5E48b14a.pdf
34. Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. ADHAC. (Mayo de 2012). Guía integral de desarrollo de proyectos de redes de distrito de calor y frío. Recuperado el 23 de octubre de 2018, de http://www.adhac.es/priv/clientsimages/asociacionperso6_1338538783.pdf
35. United Nations Environment Programme (UNEP). (2015). District Energy in Cities. Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9317/->

- [District energy in cities unlocking the potential of energy efficiency and renewable ene.pdf?sequence=2&isAllowed=y](#)
36. Van Deventer, J., Derhamy, H., Atta, K., & Delsing, J. (2017). Service Oriented Architecture enabling the 4th Generation of District Heating. *Energy Procedia*, 116, 500-509. doi:10.1016/J.EGYPRO.2017.05.096
 37. Lee, J., Kim, H., & Im, S. (2017). Comparative Analysis between District Heating and Geothermal Heat Pump System. *Energy Procedia*, 116, 403–406, doi:10.1016/J.EGYPRO.2017.05.087.
 38. Ericsson, K., & Werner, S. (2016). The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. *Biomass Bioenergy*, 94, 57–65, doi:10.1016/J.BIOMBIOE.2016.08.011.
 39. Sandvall, A., Ahlgren, E., & Ekvall, T. (2017). Cost-efficiency of urban heating strategies—Modelling scale effects of low-energy building heat supply. *Energy Strateg Reviews*, 18, 212–223, doi:10.1016/J.ESR.2017.10.003.
 40. Delmastro, C., Mutani, G., & Schranz, L. (2015). Advantages of Coupling a Woody Biomass Cogeneration Plant with a District Heating Network for a Sustainable Built Environment: A Case Study in Luserna San Giovanni (Torino, Italy). *Energy Procedia*, 78, 794–799, doi:10.1016/J.EGYPRO.2015.11.102.
 41. Bush, R., Bale, C., & Taylor, P. (2016). Realising local government visions for developing district heating: Experiences from a learning country. *Energy Policy*, 98, 84-96. doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.013.
 42. Wouters, C. (2015). Towards a regulatory framework for microgrids-The Singapore experience. *Sustainable Cities and Society*, 15, 22-32. doi.org/10.1016/j.scs.2014.10.007.
 43. Hanna, R., Ghonima, M., Kleissl, J., Tynan, G., & Victor, D. (2017). Evaluating business models for microgrids: Interactions of technology and policy. *Energy Policy*, 103, 47-61. doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.010.
 44. Wojdyga, K., & Chorzelski, M. (2017). Chances for polish heating systems. *Energy Procedia*, 116, 106-118. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.059.
 45. Lund, H., Möller, B., Mathiesen, B., & Dyrelund, A. (2010). The role of district heating in future renewable energy systems. *Energy*, 35, 1381-1390. doi.org/10.1016/j.energy.2009.11.023.
 46. Kolokotsa, D. (2016). The role of smart grids in the building sector. *Energy and Building*, 116, 703-708. doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.033.
 47. Laakkonen, L., Korpela, T., Kaivosoja, J., Vilkkko, M., Majanne, Y., & Nurmoranta, M. (2017). Predictive supply Temperature Optimization of district Heating Networks

- Using Delay Distributions. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 297-309. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.076.
48. Bush, R., & Bale, C. (2017). The role of intermediaries in the transition to district heating. *Energy Procedia*. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling., 116, 490-499. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.098.
 49. Ziemele, J., Gravelins, A., Blumberga, A., & Blumberga, D. (2016). The effect of energy efficiency improvements on the development of 4th generation district heating. *Energy Procedia*, 95, 522-527. doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.079
 50. UPONOR. (s.f.). Guía de microrredes de distrito de calor y frío. Edición I. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de https://www.google.com/search?client=firefox-b&ei=NevNW7GKGYL4adPAjoAD&q=Gu%C3%ADa+de+microrredes+de+distrito+de+calor+y+fr%C3%ADo.+Edici%C3%B3n+I.&oq=Gu%C3%ADa+de+microrredes+de+distrito+de+calor+y+fr%C3%ADo.+Edici%C3%B3n+I.&gs_l=psy-ab.12...25912318.259
 51. Lake, A., Rezaie, B., & Beyerlein, S. (2017). Review of district heating and cooling systems for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 417-425. doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.061.
 52. Werner, S. (2017). District heating and cooling in Sweden. *Energy*, 126, 419-429. doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.052.
 53. Schmidt, D., Kallert, A., Blesl, M., Svendsen, S., Li, H., Nord, N., & Sipila, K. (2017). Low Temperature District Heating for Future. *Energy Systems*. *Energy Procedia*, 116, 26-38. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.052.
 54. Averfalk, H., & Werner, S. (2017). Essential improvements in future district heating systems. *Energy Procedia*, 116, 217-225. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.069.
 55. Rämä, M., & Sipila, K. (2017). Transition to low temperature distribution in existing systems. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 58-68. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.055.
 56. Wahlroos, M., Pärssinen, M., Manner, J., & Syri, S. (2017). Utilizing data center waste heat in district heating e Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks. *Energy*, 140, 1228-1238. doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.078.
 57. Persson, U., & Münster, M. (2016). Current and future prospects for heat recovery from waste in European district heating systems: A literature and data review. *Energy*, 110, 116-128. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.074>.
 58. Nord, N., Schmidt, D., & Dagmar, A. (2017). Necessary Measures to Include more Distributed renewable energy Sources into District Heating System. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 48-57. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.054.

59. Castro Flores, J., Lacarriere, B., Chiu, J., & Martín, V. (2017). Assessing the techno-economic impact of low temperatures subnets in conventional district heating networks. *Energy Procedia*, 116, 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.073>.
60. Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Vad Mathiesen, B. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1-11. doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089.
61. Comisión Europea. (2016). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité económico y social Europeo y al Comité de las Regiones. Estrategia de la UE relativa a la calefacción y la refrigeración. Recuperado el 23 de octubre de 2018, de <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/ES/1-2016-51-ES-F1-1.PDF>
62. Lissardy, G. (17 de noviembre de 2017). El origen del misterioso vapor que sale del pavimento en las calles de Nueva York (y por qué es tan importante para la ciudad). Recuperado el 24 de octubre de 2018, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-41911000>
63. DHC Technology Platform. (Marzo de 2012). District Heating and Cooling. A vision towards 2020-2030-2050. Recuperado el 24 de octubre de 2018, de <https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/DHC-Vision-for-DHC-2012.pdf>
64. Cano Herrador, C., Valbuena García, F., Muñoz Martín, J., Rey Martínez, F., & Navas Gracia, L. (2014). Calefacción de distrito urbana con biomasa de la Universidad de Valladolid. Objetivo 20/20/20. Recuperado el 24 de octubre de 2018, de <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896712037.pdf>
65. Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío ADHAC. (2018). Censo de redes de Calor y Frío. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de http://www.adhac.es/Priv/ClientsImages/AsociacionPerso8_1540226118.pdf
66. Howell, S., Rezgui, Y., Hippolyte, J., Jayan, B., & Li, H. (2017). Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multiagent management of distributed energy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 193-214. doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.107.
67. Ahmad, M., Mourshed, M., Mundow, D., Sisinni, M., & Rezgui, Y. (2016). Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research. *Energy and Building*, 120, 85-102. doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.059.

68. Ferreira, A., Ferreira, A., Cardin, O., & Leitao, P. (2015). Extension of holonic paradigm to smart grids. *IFAC PapersOnLine*, 48-3, 1099-1104. doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.230.
69. Reynolds, J., Rezgui, Y., & Hippolyte, J. L. (2017). Upscaling energy control from building to districts: Current limitations and future perspectives . *Sustainable Cities and Society*, 35, 816-829. doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.012.
70. Mazhar, A., Liu, S., & Shukla, A. (2018). A state of art review on the district heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 420-439. doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.005.
71. Gaoa, L., Cuia, X., Nia, J., Leib, W., Huangb, T., Baib, C., & Yanga, J. (2017). Technologies in Smart District Heating System. *Energy Procedia*, 142, 1829-1834. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.571.
72. Lund, H., Duic, N., Alberg-Ostergaard, P., & Mathiesen, B. (2018). Future district heating systems and technologies: On the role of smart energy systems and 4th generation district heating. *Energy*, 165. Part A, 614-619. doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.115.
73. Lund, H; Alberg-Ostergaard, P; Chang, M; Werner, S; Svendsen, S; Sorknæs, P; Thorsen, J.E; Hvelplund, F; Mortensen, B.O.G; Mathiesen, B.V; Bojesen, C; Duic, N; Zhang, X; Möller, B. (2018). The status of 4th generation district heating: Research and results. *Energy*, 164, 147-159. doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206.
74. Dorotić, H., Pukšec, T., & Duić, N. (2018). Multi-objective optimization of district heating and cooling systems for a one-year. *Energy*, Available online 30 November 2018. doi:10.1016/j.energy.2018.11.149.
75. Sayegh, M., Danielewicz, J., Nannou, T., Miniewicz, M., Jadwiszczak, P., Piekarska, K., & Jouhara, H. (2017). Trends of European research and development in district heating technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, Part 2, 1183-1192. doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.023.
76. Good, N., Martínez Ceseña, E. A., & Mancarella, P. (2017). Ten questions concerning smart districts. *Building and Environment*, 118, 362-376. doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.037.
77. Amaral, A., Rodrigues, E., Rodrigues Gaspar, A., & Gomes, A. (2018). Review on performance aspects of nearly zero-energy districts. *Sustainable Cities and Society*(43), 406-420. doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.039.
78. AENOR. Asociación Española de Normalización. (2018). UNE-EN ISO 50001:2018. Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 50001:2018). Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060594>

79. PREFIERES. Portal de Eficiencia y Rehabilitación. (11 de enero de 2016). District Heating en la UVa. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.prefieres.es/district-heating-en-la-uva#>
80. Huerta, M., Portela, J., & Pastor, A. (2010). Calefacción urbana o de distrito, ¿un sistema energéticamente más sostenible? Recuperado el 31 de octubre de 2018, de XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica: <https://docplayer.es/6804813-Calefaccion-urbana-o-de-distrito-un-sistema-energeticamente-mas-sostenible.html>
81. Bilous, I., Doshko, V., & Sukhodub, I. (2018). Parametric analysis of external and internal factors influence on building energy performance using non-linear multivariate regression models. *Journal of Building Engineering*, 20, 327–336, doi:10.1016/J.JOBE.2018.07.021.
82. Permai, S., & Tanty, H. (2018). Linear regression model using bayesian approach for energy performance of residential building. . *Procedia Computer Science*, 135, 671–677, doi:10.1016/J.PROCS.2018.08.219.
83. Roth, J., & Rajagopal, R. (2018). Benchmarking building energy efficiency using quantile regression. *Energy*, 152, 866–876, doi:10.1016/J.ENERGY.2018.02.108.
84. Fumo, N., & Rafe Biswas, M. (2015). Regression analysis for prediction of residential energy consumption. *Renew. Sustain. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 332–343, doi:10.1016/J.RSER.2015.03.035.
85. Arregi, B., & Garay, R. (2017). Regression analysis of the energy consumption of tertiary buildings. *Energy Procedia*, 122, 9–14, doi:10.1016/J.EGYPRO.2017.07.290.
86. Aranda, A., Ferreira, G., Mainar-Toledo, M., Scarpellini, S., & Llera Sastresa, E. (2012). Multiple regression models to predict the annual energy consumption in the Spanish banking sector. *Energy and Buildings*, 49, 380–387, doi:10.1016/J.ENBUILD.2012.02.040.
87. Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. *Energy*, 137, 617-631. doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045.
88. Verbai, Z., Lakatos, A., & Kalmár, F. (2014). Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day. *Energy*, 76, 780-787. doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.075.
89. Golden, A., Woodbury, K., Carpenter, J., & O'Neill, Z. (2017). Change point and degree day baseline regression models in industrial facilities. *Energy and Buildings*, 144, 30–41, doi:10.1016/j.enbuild.2017.03.024.
90. Meng, Q., & Mourshed, M. (2017). Degree-day based non-domestic building energy analytics and modelling should use building and type specific base temperatures. *Energy and Buildings*, 155, 260–268, doi:10.1016/j.enbuild.2017.09.034.

91. Atalla, T., Gualdi, S., & Lanza, A. (2018). A global degree days database for energy-related applications. *Energy*, 143, 1048–1055, doi:10.1016/j.energy.2017.10.134.
92. De Rosa, M., Bianco, V., Scarpa, F., & Tagliafico, L. (2014). Heating and cooling building energy demand evaluation; A simplified model and a modified degree days approach. *Applied Energy*, 128, 217–229, 10.1016/j.apenergy.2014.04.067.
93. Sathayea, J., Murtishawa, S., Pricea, L., Lefrancb, M., Royc, J., Winklerd, H., & Spalding-Fecherd, R. (2004). Multiproject baselines for evaluation of electric power projects. *Energy Policy*, 32, 1303-1317. doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00098-3.
94. Sakamoto, T., Takase, K., Matsushashi, R., & Managi, S. (2016). Baseline of the projection under a structural change in energy demand. *Energy Policy*, 98, 274-289. doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.035.
95. Strachan, N. (2011). Business-as-Unusual: Existing policies in energy model baselines. *Energy Economics*, 33, 153-160. doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.009.
96. Liang, X., Hong, T., & Qiping Shen, G. (2016). Improving the accuracy of energy baseline models for commercial buildings with occupancy data. *Applied energy*, 179, 247-260. doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.141.
97. Quiquerez, L., Lachal, B., Monnard, M., & Faessler, J. (2017). The role of district heating in achieving sustainable cities: comparative analysis of different heat scenarios for Geneva. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 78-90. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.057.
98. InfoRiego. (s.f.). Datos Agroclimáticos. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de http://www.inforiego.org/opencms/opencms/info_meteo/construir/index.html
99. AENOR. Asociación Española de Normalización. (2009). UNE-EN ISO 15927-6:2009. Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 6: Diferencias acumuladas de temperatura (en grados por día). (ISO 15927-6:2007). Recuperado el 1 de noviembre de 2018, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0043434>
100. IBM. (2011). IBM SPSS Statistics Software. (V20). Obtenido de IBM SPSS Software. Available online: <https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software> (accessed)
101. Universidad de Sevilla. (s.f.). Estadístico de contraste. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de http://ocwus.us.es/metodos-de-investigacion-y-diagnostico-en-educacion/analisis-de-datos-en-la-investigacion-educativa/Bloque_II/page_59.htm/
102. Adobe Experience Cloud Help. (s.f.). Nivel de confianza e intervalo de confianza. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de https://marketing.adobe.com/resources/help/es_ES/rec/c_Confidence_Level_and_Confidence_Interval.html

103. Mahía, R. (marzo de 2010). Conceptos básicos sobre la Autocorrelación en el modelo básico de regresión lineal. Recuperado el octubre 28 de 2018, de https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/rarce/pdf/autocorrel.pdf
104. Antunez, C. (s.f.). Tablas Estadísticas para Econometría. Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/tablas-estadisticas-econometria/tablas-estadisticas-econometria.pdf>
105. Belsley, D., Kuh, E., & Welsch, R. (2005). Regression diagnostics: Identifying influential data and sources of collinearity (Vol. ISBN 9780471058564. DOI:10.1002/0471725153). New York: 1980 John Wiley & Sons.
106. Universidad de Valladolid (UVA), Junta de Castilla y León, Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente (SOMACyL). (29 de octubre de 2015). Red Calor UVA. (Mundimag Audiovisual) Recuperado el 4 de noviembre de 2018, de https://www.youtube.com/watch?v=glaHMyDns_c
107. Lorenzo, S. (29 de marzo de 2017). Red de calor urbana con biomasa forestal de la Universidad de Valladolid. Recuperado el 6 de noviembre de 2018, de http://www.life-opere.org/sites/default/files/jornada_final_opere_sergio_lorenzo.pdf
108. Universidad de Valladolid (UVA). (s.f.). Relación de bienes inmuebles de la Universidad de Valladolid. Recuperado el 21 de noviembre de 2018, de <http://portalde transparencia.uva.es/ documentos/Relacion-de-Inmuebles-2018.pdf>
109. EOI. Escuela de Organización Industrial. (15 de Noviembre de 2015). Master en Energías Renovables y Mercado Energético. Recuperado el 9 de marzo de 2019, de <https://www.eoi.es/blogs/merme/energia-primaria-transformacion-y-consumos-en-espana-evolucion-global-de-la-demanda-de-energia/>
110. Ministerios de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento. (20 de julio de 2014). *Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf
111. Lara, S. (2017). Análisis del funcionamiento de la Red de calefacción centralizada "Univeridad de Valladolid". Escuela de Ingenierías Industriales. UVA.
112. Eurostat. (mayo de 2018). Estadísticas de los precios del gas natural. Recuperado el 2 de diciembre de 2018, de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_price_statistics/es#Precios_del_gas_natural_para_consumidores_no_dom.C3.A9sticos
113. Dirección General de Política Energética y Minas. (31 de diciembre de 2016). Resolución de 29 de diciembre de 2016, de la Dirección General de Política

- Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-12600
114. Dirección General de Política Energética y Minas. (30 de marzo de 2017). Resolución de 24 de marzo de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-3412
 115. Dirección General de Política Energética y Minas. (29 de junio de 2017). Resolución de 28 de junio de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-7484
 116. Dirección General de Política Energética y Minas. (29 de septiembre de 2017). Resolución de 25 de septiembre de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-11062
 117. Dirección General de Política Energética y Minas. (28 de diciembre de 2017). Resolución de 26 de diciembre de 2017, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-15610
 118. Dirección General de Política Energética y Minas. (31 de marzo de 2018). Resolución de 22 de marzo de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-4437
 119. Dirección General de Política Energética y Minas. (30 de junio de 2018). Resolución de 28 de junio de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de <https://www.boe.es/boe/dias/2018/06/30/pdfs/BOE-A-2018-9035.pdf>
 120. Dirección General de Política Energética y Minas. (29 de septiembre de 2018). Resolución de 25 de septiembre de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural. Recuperado el 06 de diciembre de 2018, de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-13190

121. IDAE. Dirección de Energías Renovables. Departamento de Biomasa y Residuos. (20 de noviembre de 2018). Informe de Precios de la Biomasa para Usos Térmicos. Datos correspondientes al 2º Trimestre de 2018. Recuperado el 5 de diciembre de 2018, de http://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/informe_precios_biomasa_usos_termicos_2t_2018.pdf
122. Euronet. (s.f.). Euronet 50-50 max. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de Herramientas para el cálculo de Ahorros Energéticos: <http://www.euronet50-50max.eu/es/energy-savings-calculation-tool?id=51>
123. Bromley, M. (21 de diciembre de 2009). Degree Days. Understanding Heating and Cooling Degree Days. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de [https://www.degree-days.net/introduction#Why are heating degree days useful](https://www.degree-days.net/introduction#Why%20are%20heating%20degree%20days%20useful)
124. Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP). (2011). Eficiencia Energética en dependencias municipales. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <http://www.redciudadesclima.es/sites/default/files/97a9d2195549da7f51cd21c7a4fec7a.pdf>
125. Agencia Chilena de Eficiencia Energética. AchEE. (Abril de 2014). Guía de Apoyo al Desarrollo de Diagnósticos Energéticos para Instituciones de Educación Superior (IES). Recuperado el 7 de febrero de 2019, de http://www.pucv.cl/uuaa/site/artic/20160701/asocfile/20160701115559/gu_a_apoyo_al_desarrollo_de_diagnosticos_energeticos_para_ies_achee.pdf
126. Federación Española de Municipios y Provincias. FEMP. (2011). Climatización Urbana en las ciudades españolas. Recuperado el 10 de marzo de 2019, de <http://www.redciudadesclima.es/sites/default/files/b7e75a5a739b40b44fc98ecaad533842.pdf>
127. Andric, I., Pina, A., Ferrào, P., Fournier, J., Lacarriere, B., & Le Corre, O. (2017). Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor temperature function for a long-term district heat demand forecast. *Energy Procedia*, 116, 460-469. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.093.
128. Granderson, J., & Price, P. (2014). Development and application of a statistical methodology to evaluate the predictive accuracy of building energy baseline models. *Energy*, 66, 981-990. doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.074.
129. Kim, J., & Weidlich, I. (2017). Identification of Individual District Heating Network Conditions using Equivalent Full Load Cycles. *Energy Procedia*, 116, 343-350. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.081.
130. Vanhoudt, D., Claessens, B., Desmedt, J., & Johansson, C. (2017). Status of the Horizon 2020 Storm Project. The 15th International Symposium on district Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 116, 170-179. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.065.

131. Abghari, S., García-Martín, E., Johansson, C., Lavesson, N., & Grahn, H. (2017). Trend Analysis to automatically identify heat program changes. *Energy Procedia*, 116, 407-415. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.088.
132. Ulseth, R., Byskov, K., Georges, L., Justo, M., & Utne, A. (2017). Measured load profiles and heat use for "low energy buildings" with heat supply from district heating. *Energy Procedia*, 116, 180-190. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.066.
133. Khabdullin, A., Khabdullina, Z., Khabdullina, G., Lauka, D., & Blumberga, D. (2017). Demand response analysis methodology in district heating system. *Energy Procedia*, 128, 539-543. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.004.
134. Winterscheid, C, Holler, S., & Dalenbäck, J.-O. (2017). Integration of solar thermal systems into existing district heating systems. *Energy Procedia*, 116, 158-169. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.159>.
135. Winterscheid, C., Dalenbäck, J., & Holler, S. (2017). Integration of solar thermal systems in existing district heating systems. *Energy*, 137, 579-585. doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.159.
136. Pavicevic, M., Novosel, T., Puksec, T., & Duic, N. (2017). Hourly optimization and sizing of district heating systems considering building refurbishment - Case study for the city of Zagreb. *Energy*, 137, 1264-1276. doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.105.
137. Mertz, T., Serra, S. H., Reneaume, & J.M. (2017). A MINLP optimization of the configuration and the design of a district heating network: study case on an existing site. *Energy Procedia*, 116, 236-248. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.071.
138. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética (ENERGYLAB). (8 de octubre de 2014). Metodología para abordar un Proyecto de EE: "Potocolo de Medida y Verificación de Ahorros Energéticos IPMVP". Recuperado el 29 de octubre de 2018, de https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/14-10-08_Jornada%20sobre%20HERRAMIENTAS%20DE%20GESTION%20DE%20LA%20ENERGIA/04-METODOLOGIA-PARA-ABORDAR-UN-PROYECTO-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA-IPMVP-fenercom-2014
139. Asociación de Empresas de Eficiencia Energética. A3e. (2015). Curso de Auditor Energético en la Edificación. Volumen III. Madrid.
140. Efficiency Valuation Organization (EVO). (Septiembre de 2010). Protocolo Internacional de Medida y Verificación. Volumen 1. Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <http://old.acee.cl/?q=system/files/IPMVP%202010%20-%20Volumen%20I%20-%20Espa%C3%B1ol.pdf>
141. ASHRAE. (2014). Guideline 14-2014 -- Measurement of Energy, Demand, and Water Savings. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de https://www.techstreet.com/ashrae/standards/guideline-14-2014-measurement-of-energy-demand-and-water-savings?gateway_code=ashrae&product_id=1888937

142. EVO, E. V. (2014). International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP). Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>
143. Efficiency Valuation Organization (EVO). (Junio de 2014). International Performance Measurement and Verification Protocol. Core Concepts. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de http://www.minimiseusa.com/images/Core%20Concepts%20%20EVO%20IPMVP%202014_Dec2014-3.pdf
144. Poquet, R., Sastre, J., & Crespo, F. (2014). Eficiencia energética: como evitar errores estadísticos en la Medida y Verificación (Primera ed., Vols. ISBN: 978-84-16048-80-9). Valencia: Obrapropia.
145. Trejo, A. (s.f.). Inferencia estadística. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de <https://slideplayer.es/slide/1610760/>
146. Cruz Ramírez, A. P. (s.f.). Pruebas de Hipótesis para una muestra. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de <https://www.monografias.com/trabajos30/prueba-de-hipotesis/prueba-de-hipotesis.shtml>
147. Scott Armstrong, J. (2012). Illusions in Regression Analysis. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de International Journal of Forecasting: http://www.academia.edu/1105970/Illusions_in_Regression_Analysis
148. Universidad de Cádiz (UCA). (s.f.). Regresión simple y múltiple. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de http://www.uca.edu.sv/matematica/upload_w/file/REGRESION%20SIMPLE%20Y%20MULTIPLE.pdf
149. Universidad de Jaén. (s.f.). Capítulo 9. Regresión lineal simple. Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <http://www4.ujaen.es/~dmontoro/Metodos/Tema%209.pdf>
150. Capítulo 18. Análisis de regresión lineal. El procedimiento de Regresión lineal. Guía SPSS. (s.f.). Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/GuiaSPSS/18reglin.pdf>
151. Ramalle Gómara, E., & Andrés de Llano, J. (2003). Utilización de métodos robustos en la estadística inferencial. *Aten Primaria*, 32 (3), 177-182.
152. Navidi, W. (2006). Estadística para ingenieros y científicos. México: McGraw-Hill. Interamericana de México. ISBN: 9701056299.
153. Universidad de Valladolid. (s.f.). Apartamentos Cardenal Mendoza. Recuperado el 11 de noviembre de 2018, de <http://www.uva.es/export/sites/uva/6.vidauniversitaria/6.13.alojamientos/6.13.01.cardenalmendoza/index.html>

154. Fundación General de la Universidad de Valladolid. (FUNGE). (s.f.). Apartamentos Cardenal Mendoza. Recuperado el 11 de noviembre de 2018, de <http://funge.uva.es/residencias-universitarias/apartamentos-cardenal-mendoza/>
155. Encinas, A.G. (9 de enero de 2017). La UVA completa el campus Miguel Delibes 20 años después. El Norte de Castilla. Obtenido el 14 de noviembre de 2018 de <https://www.elnortedecastilla.es/valladolid/201701/09/completa-campus-miguel-delibes-20170106200628.html>
156. Anta, J. (13 de septiembre de 2017). De paseo por el Campus Universitario. Recuperado el 21 de noviembre de 2018, de <https://jesusantaroca.wordpress.com/2017/09/13/de-paseo-por-el-campus-universitario/>
157. Universidad de Valladolid (UVA). (2018). Historia de la Facultad de Comercio de Valladolid. Recuperado el 22 de noviembre de 2018, de <http://www2.emp.uva.es/index.php/historia-de-la-facultad-de-comercio-de-valladolid/>
158. Europa Press. (28 de 07 de 2011). El IBGM de Valladolid cuenta con un microscopio confocal con características únicas en España. Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de <https://www.europapress.es/castilla-y-leon/noticia-ibgm-valladolid-cuenta-microscopio-confocal-caracteristicas-unicas-espana-20110728124656.html>
159. Sede Electrónica del Catastro. (s.f.). Consulta y certificación de Bien Inmueble. Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de <https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCConCiud.aspx?del=47&mun=900&UrbRus=U&RefC=7734733UM5173D0001FK&Apenom=&esBice=&RCBicE4=&RCBice2=&DenoBice=&from=nuevoVisor>

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Objetivos energéticos y medioambientales en la Unión Europea y España	15
Tabla 2. Características de las tuberías según su material.....	20
Tabla 3. Estadístico de Durbin Watson para $\alpha = 0,05$	55
Tabla 4. Hipótesis nulas y alternativas de la investigación	59
Tabla 5. Resumen de características de los Edificios del Campus Miguel Delibes	79
Tabla 6. Resumen de características de los Edificios del Campus Río Esgueva.....	81
Tabla 7. Datos climáticos utilizados en la investigación. Grados día	85
Tabla 8. Datos climáticos utilizados en la investigación. Temperaturas	86
Tabla 9. Datos climáticos utilizados en la investigación. Humedad Relativa	87
Tabla 10. Datos climáticos utilizados en la investigación. Velocidad del viento	88
Tabla 11. Datos climáticos. Recorrido, precipitación, horas de sol y radiación	89
Tabla 12. Consumo de combustibles fósiles de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh).....	94
Tabla 13. Consumo de biomasa de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh).....	95
Tabla 14. Consumo total térmico de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh).....	96
Tabla 15. Consumo de combustibles fósiles de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh)	97
Tabla 16. Consumo de biomasa de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh)	98
Tabla 17. Consumo total térmico de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh)	99
Tabla 18. Factores de emisiones de CO ₂	100
Tabla 19. Precios del Gas natural 2015, 2016y 2017	102
Tabla 20. Coste de la materia prima de gas natural 2017 y 2018	102
Tabla 21. Evolución de las Tarifas de Último Recurso T1 y T2, 2017 y 2018	103
Tabla 22. Precios del Gasóleo C y de la Biomasa 2015, 2016, 2017 y 2018	104
Tabla 23. Precios de referencia variables para Gas natural, Gasóleo y Astilla 2015 2018.....	104
Tabla 24. Precios de referencia totales para Gas natural, Gasóleo y Astilla 2015 2018.....	105
Tabla 25. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D1	108
Tabla 26. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D1	108
Tabla 27. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D1.....	109
Tabla 28. Resumen de resultados. Edificio D1.....	110
Tabla 29. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D2	112
Tabla 30. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D2	112
Tabla 31. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D2.....	113
Tabla 32. Resumen de resultados. Edificio D2.....	114
Tabla 33. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D3	116
Tabla 34. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D3	116
Tabla 35. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D3.....	117
Tabla 36. Resumen de resultados. Edificio D3.....	118

Listado de Tablas

Tabla 37. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D4	120
Tabla 38. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D4	120
Tabla 39. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D4	121
Tabla 40. Resumen de resultados. Edificio D4.....	122
Tabla 41. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D5	124
Tabla 42. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D5	124
Tabla 43. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D5	125
Tabla 44. Resumen de resultados. Edificio D5.....	126
Tabla 45. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D6	128
Tabla 46. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D6	128
Tabla 47. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D6.....	129
Tabla 48. Resumen de resultados. Edificio D6.....	130
Tabla 49. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D7	132
Tabla 50. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D7	132
Tabla 51. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D7	133
Tabla 52. Resumen de resultados. Edificio D7.....	134
Tabla 53. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D8	136
Tabla 54. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D8	136
Tabla 55. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D8.....	137
Tabla 56. Resumen de resultados. Edificio D7.....	138
Tabla 57. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D9	140
Tabla 58. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D9	140
Tabla 59. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D7	141
Tabla 60. Resumen de resultados. Edificio D9.....	142
Tabla 61. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D10	144
Tabla 62. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D10	144
Tabla 63. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D10	145
Tabla 64. Resumen de resultados. Edificio D10.....	146
Tabla 65. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D11	148
Tabla 66. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D11	148
Tabla 67. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D11	149
Tabla 68. Resumen de resultados. Edificio D11.....	150
Tabla 69. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio D12	152
Tabla 70. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio D12	152
Tabla 71. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio D12	153
Tabla 72. Resumen de resultados. Edificio D12.....	154
Tabla 73. Resumen de modelos de regresión simple. Campus Miguel Delibes	155
Tabla 74. Resumen de modelos de regresión múltiple. Campus Miguel Delibes.....	155
Tabla 75. Resumen de diferencias significativas regresión simple. Campus Miguel Delibes.....	158
Tabla 76. Resumen de diferencias significativas regresión múltiple. Campus Miguel Delibes	158
Tabla 77. Resumen de características de los edificios del Campus Miguel Delibes	159
Tabla 78. Consumo Real térmico de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh)	160
Tabla 79. Consumo Pronosticado térmico de los edificios del Campus Miguel Delibes (kWh)	161
Tabla 80. Resumen de ahorro de energía térmica del Campus Miguel Delibes (kWh)	162
Tabla 81. Ahorro de emisiones CO2 del Campus Miguel Delibes (kg CO2).....	163
Tabla 82. Precios máximos de compra de la energía a la red de calor	164

Listado de Tablas

Tabla 83. Precios estimados para los combustibles	164
Tabla 84. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E1	167
Tabla 85. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E1	167
Tabla 86. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E1	168
Tabla 87. Resumen de resultados. Edificio E1	169
Tabla 88. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E2	171
Tabla 89. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E1	171
Tabla 90. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E2	172
Tabla 91. Resumen de resultados. Edificio E2	173
Tabla 92. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E3	175
Tabla 93. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E3	175
Tabla 94. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E3	176
Tabla 95. Resumen de resultados. Edificio E3	177
Tabla 96. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E4	179
Tabla 97. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E4	179
Tabla 98. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E4	180
Tabla 99. Resumen de resultados. Edificio E4	181
Tabla 100. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E5	183
Tabla 101. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E5	183
Tabla 102. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E5	184
Tabla 103. Resumen de resultados. Edificio E5	185
Tabla 104. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E6	187
Tabla 105. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E6	187
Tabla 106. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E6	188
Tabla 107. Resumen de resultados. Edificio E6	189
Tabla 108. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E7	191
Tabla 109. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E7	191
Tabla 110. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E6	192
Tabla 111. Resumen de resultados. Edificio E7	193
Tabla 112. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E8	195
Tabla 113. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E8	195
Tabla 114. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E8	196
Tabla 115. Resumen de resultados. Edificio E8	198
Tabla 116. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E13	200
Tabla 117. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E13	200
Tabla 118. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E6	201
Tabla 119. Resumen de resultados. Edificio E13	202
Tabla 120. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E14	204
Tabla 121. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E14	204
Tabla 122. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E14	205
Tabla 123. Resumen de resultados. Edificio E14	206
Tabla 124. Resumen de los modelos encontrados para el Edificio E15	208
Tabla 125. Resumen del cumplimiento de los supuestos de regresión. Edificio E15	208
Tabla 126. Resultado de las diferencias significativas encontradas. Edificio E15	209
Tabla 127. Resumen de resultados. Edificio E15	210
Tabla 128. Resumen de modelos de regresión simple. Campus Río Esgueva	211

Listado de Tablas

Tabla 129. Resumen de modelos de regresión múltiple. Campus Río Esgueva	211
Tabla 130. Resumen de diferencias significativas regresión simple. Campus Río Esgueva	213
Tabla 131. Resumen de diferencias significativas regresión múltiple. Campus Río Esgueva.....	213
Tabla 132. Resumen de características de los edificios del Campus Río Esgueva.....	214
Tabla 133. Consumo Real térmico de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh).....	215
Tabla 134. Consumo Pronosticado térmico de los edificios del Campus Río Esgueva (kWh)	216
Tabla 135. Resumen de ahorro de energía térmica del Campus Río Esgueva (kWh).....	217
Tabla 136. Ahorro de emisiones CO ₂ del Campus Río Esgueva (kg CO ₂)	218
Tabla 137. Precios máximos de compra de la energía a la red de calor	219
Tabla 138. Precios estimados para los combustibles.....	219
Tabla 139. Resumen de modelos de regresión simple. UVA.....	221
Tabla 140. Resumen de modelos de regresión múltiple UVA	222
Tabla 141. Resumen de diferencias significativas regresión simple UVA	224
Tabla 142. Resumen de diferencias significativas regresión múltiple UVA.....	224
Tabla 143. Resumen de características de los edificios de la UVA	225
Tabla 144. Consumo Real térmico y pronosticado de los edificios de la UVA (kWh)	226
Tabla 145. Precios máximos de compra de la energía a la red de calor	228
Tabla 146. Precios estimados para los combustibles.....	228
Tabla 147. Porcentaje de energía proveniente de Biomasa y de combustibles fósiles. UVA	229
Tabla 148. Ahorro de emisiones CO ₂ de la UVA (kg CO ₂)	231
Tabla 149. Consumos térmicos del edificio D1.....	273
Tabla 150. Modelos de regresión del Edificio D1	274
Tabla 151. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D1	276
Tabla 152. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D1	277
Tabla 153. Prueba de normalidad para el edificio D1.....	279
Tabla 154. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el EdificioD1 ...	283
Tabla 155. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio D1	284
Tabla 156. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D1.....	285
Tabla 157. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D1	286
Tabla 158. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D1.....	286
Tabla 159. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D1.....	286
Tabla 160. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D1.....	287
Tabla 161. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D1	288
Tabla 162. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D1	288
Tabla 163. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D1	289
Tabla 164. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D1.....	290
Tabla 165. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D1.....	290
Tabla 166. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1	291
Tabla 167. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1.....	291
Tabla 168. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1.....	291
Tabla 169. Estimación del ahorro de emisiones de CO ₂ para el Edificio D1.	292
Tabla 170. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	293
Tabla 171. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D1.....	293
Tabla 172. Consumos térmicos del edificio D2.....	294
Tabla 173. Modelos de regresión del Edificio D2	295
Tabla 174. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D2	296

Listado de Tablas

Tabla 175. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D2	296
Tabla 176. Prueba de normalidad para el edificio D2.....	297
Tabla 177. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D2.....	300
Tabla 178. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D2	301
Tabla 179. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D2.....	301
Tabla 180. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D2.....	301
Tabla 181. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D2	302
Tabla 182. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D2.....	302
Tabla 183. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D2.....	303
Tabla 184. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D2	303
Tabla 185. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D2.....	304
Tabla 186. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D2.....	304
Tabla 187. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2	305
Tabla 188. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2.....	305
Tabla 189. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2.....	305
Tabla 190. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D2.	306
Tabla 191. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	307
Tabla 192. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D2.....	307
Tabla 193. Consumos térmicos del edificio D3.....	308
Tabla 194. Modelos de regresión del Edificio D3	308
Tabla 195. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D3.....	309
Tabla 196. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D3	310
Tabla 197. Prueba de normalidad para el edificio D3.....	311
Tabla 198. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D3.....	313
Tabla 199. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D3	314
Tabla 200. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D3.....	314
Tabla 201. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D3.....	314
Tabla 202. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D3	315
Tabla 203. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D3.....	316
Tabla 204. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D3.....	316
Tabla 205. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D3	317
Tabla 206. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D3.....	317
Tabla 207. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D3.....	317
Tabla 208. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3	318
Tabla 209. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3.....	318
Tabla 210. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3.....	319
Tabla 211. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D3.	320
Tabla 212. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	321
Tabla 213. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D3.....	321
Tabla 214. Consumos térmicos del edificio D4.....	322
Tabla 215. Modelos de regresión del Edificio D4	322
Tabla 216. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D4.....	323
Tabla 217. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D4	324
Tabla 218. Prueba de normalidad para el edificio D4.....	325
Tabla 219. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D4.....	328
Tabla 220. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D4	329

Listado de Tablas

Tabla 221. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D4.....	329
Tabla 222. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D4.....	329
Tabla 223. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D4.....	330
Tabla 224. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D4	331
Tabla 225. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D4	331
Tabla 226. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D4	332
Tabla 227. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D4.....	332
Tabla 228. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D4.....	332
Tabla 229. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4	333
Tabla 230. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4.....	333
Tabla 231. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4.....	333
Tabla 232. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D4.	334
Tabla 233. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	335
Tabla 234. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D4.....	335
Tabla 235. Consumos térmicos del edificio D5.....	336
Tabla 236. Modelos de regresión del Edificio D5	336
Tabla 237. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D5.....	337
Tabla 238. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D5	338
Tabla 239. Prueba de normalidad para el edificio D5.....	339
Tabla 240. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D5.....	341
Tabla 241. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D5	342
Tabla 242. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D5.....	342
Tabla 243. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D5.....	342
Tabla 244. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D5	343
Tabla 245. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D5.....	344
Tabla 246. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D5.....	344
Tabla 247. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D5	345
Tabla 248. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D5.....	345
Tabla 249. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D5.....	345
Tabla 250. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5	346
Tabla 251. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5.....	346
Tabla 252. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5.....	346
Tabla 253. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D5.	347
Tabla 254. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	348
Tabla 255. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D5.....	348
Tabla 256. Consumos térmicos del edificio D6.....	349
Tabla 257. Modelos de regresión del Edificio D6	349
Tabla 258. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D6.....	350
Tabla 259. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D6	351
Tabla 260. Prueba de normalidad para el edificio D6.....	352
Tabla 261. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D6.....	354
Tabla 262. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D6	355
Tabla 263. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D6.....	355
Tabla 264. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D6.....	355
Tabla 265. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D6	356
Tabla 266. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D6.....	356

Listado de Tablas

Tabla 267. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D6.....	357
Tabla 268. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D6	357
Tabla 269. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D6.....	358
Tabla 270. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D6.....	358
Tabla 271. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6	359
Tabla 272. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6.....	359
Tabla 273. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6.....	359
Tabla 274. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D6.	360
Tabla 275. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	361
Tabla 276. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D6.....	361
Tabla 277. Consumos térmicos del edificio D7.....	362
Tabla 278. Modelos de regresión del Edificio D7	362
Tabla 279. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D7	363
Tabla 280. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D7	364
Tabla 281. Prueba de normalidad para el edificio D7.....	365
Tabla 282. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D7.....	367
Tabla 283. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D7	368
Tabla 284. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D7.....	368
Tabla 285. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D7.....	368
Tabla 286. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D7	369
Tabla 287. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D7.....	369
Tabla 288. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D7.....	370
Tabla 289. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D7	370
Tabla 290. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D7.....	371
Tabla 291. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D7.....	371
Tabla 292. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7	372
Tabla 293. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7.....	372
Tabla 294. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7.....	372
Tabla 295. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D7.	373
Tabla 296. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	374
Tabla 297. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D7.....	374
Tabla 298. Consumos térmicos del edificio D8.....	375
Tabla 299. Modelos de regresión del Edificio D8	376
Tabla 300. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D8.....	378
Tabla 301. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D8	379
Tabla 302. Prueba de normalidad para el edificio D8.....	381
Tabla 303. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio D8 ..	385
Tabla 304. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio D8	386
Tabla 305. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D8.....	387
Tabla 306. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D8	388
Tabla 307. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D8.....	388
Tabla 308. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D8.....	389
Tabla 309. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D8	390
Tabla 310. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D8	390
Tabla 311. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D8	390
Tabla 312. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D8	391

Listado de Tablas

Tabla 313. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D8.....	391
Tabla 314. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D8.....	392
Tabla 315. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8.....	393
Tabla 316. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8.....	393
Tabla 317. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8.....	393
Tabla 318. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D8.	394
Tabla 319. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	395
Tabla 320. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D8.....	395
Tabla 321. Consumos térmicos del edificio D9.....	396
Tabla 322. Modelos de regresión del Edificio D9	396
Tabla 323. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D9.....	397
Tabla 324. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D9	398
Tabla 325. Prueba de normalidad para el edificio D9.....	399
Tabla 326. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D9.....	401
Tabla 327. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D9	402
Tabla 328. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D9.....	402
Tabla 329. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D9.....	402
Tabla 330. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D9.....	403
Tabla 331. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D9	404
Tabla 332. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D9	404
Tabla 333. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D9	405
Tabla 334. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D9.....	405
Tabla 335. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D9.....	405
Tabla 336. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9	406
Tabla 337. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9.....	406
Tabla 338. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9.....	406
Tabla 339. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D9.	407
Tabla 340. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	408
Tabla 341. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D9.....	408
Tabla 342. Consumos térmicos del edificio D10.....	409
Tabla 343. Modelos de regresión del Edificio D10	409
Tabla 344. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D10	410
Tabla 345. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D10	411
Tabla 346. Prueba de normalidad para el edificio D10.....	412
Tabla 347. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D10.....	414
Tabla 348. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D10	415
Tabla 349. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D10.....	415
Tabla 350. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D10.....	415
Tabla 351. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D10.....	416
Tabla 352. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D10	416
Tabla 353. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D10	417
Tabla 354. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D10	417
Tabla 355. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D10.....	418
Tabla 356. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D10.....	418
Tabla 357. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10	419
Tabla 358. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10.....	419

Listado de Tablas

Tabla 359. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10.....	419
Tabla 360. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D10.	420
Tabla 361. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	421
Tabla 362. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D10.....	421
Tabla 363. Modelos de regresión del Edificio D11	422
Tabla 364. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D11	424
Tabla 365. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D11	425
Tabla 366. Prueba de normalidad para el edificio D11	426
Tabla 367. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio D11	431
Tabla 368. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio D11	432
Tabla 369. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D11.....	433
Tabla 370. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D11	434
Tabla 371. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D11.....	434
Tabla 372. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D11.....	434
Tabla 373. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D11.....	435
Tabla 374. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D11	435
Tabla 375. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D11	435
Tabla 376. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D11	436
Tabla 377. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D11.....	436
Tabla 378. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D11.....	437
Tabla 379. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11	437
Tabla 380. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11.....	438
Tabla 381. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11.....	438
Tabla 382. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D11.	439
Tabla 383. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	440
Tabla 384. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D11.....	440
Tabla 385. Consumos térmicos del edificio D12.....	441
Tabla 386. Modelos de regresión del Edificio D12	441
Tabla 387. Variables excluidas del modelo de región del Edificio D12	442
Tabla 388. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio D12	443
Tabla 389. Prueba de normalidad para el edificio D12	444
Tabla 390. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio D12.....	446
Tabla 391. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D12	447
Tabla 392. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D12.....	447
Tabla 393. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D12.....	447
Tabla 394. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D12	448
Tabla 395. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D12.....	448
Tabla 396. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D12.....	449
Tabla 397. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D12	449
Tabla 398. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D12.....	450
Tabla 399. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D12.....	450
Tabla 400. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12	451
Tabla 401. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12.....	451
Tabla 402. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12.....	451
Tabla 403. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio D12.	452
Tabla 404. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	453

Listado de Tablas

Tabla 405. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio D12	453
Tabla 406. Consumos térmicos del edificio E1	455
Tabla 407. Modelos de regresión del Edificio E1	456
Tabla 408. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E1	457
Tabla 409. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E1.....	457
Tabla 410. Prueba de normalidad para el edificio E1	458
Tabla 411. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E1.	461
Tabla 412. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E1.....	462
Tabla 413. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E1.....	462
Tabla 414. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E1	462
Tabla 415. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E1	463
Tabla 416. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1.....	463
Tabla 417. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1	464
Tabla 418. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1	464
Tabla 419. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1.....	465
Tabla 420. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1	465
Tabla 421. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1	465
Tabla 422. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E1.....	466
Tabla 423. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	467
Tabla 424. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E1	467
Tabla 425. Consumos térmicos del edificio E2	468
Tabla 426. Modelos de regresión del Edificio E2	468
Tabla 427. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E2	469
Tabla 428. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio D2	470
Tabla 429. Prueba de normalidad para el edificio E2	471
Tabla 430. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E2.	474
Tabla 431. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E1.....	475
Tabla 432. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E2.....	475
Tabla 433. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E2	475
Tabla 434. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E2	476
Tabla 435. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E2.....	476
Tabla 436. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1	477
Tabla 437. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E2	477
Tabla 438. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2.....	478
Tabla 439. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2	478
Tabla 440. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2	478
Tabla 441. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E2.....	479
Tabla 442. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	480
Tabla 443. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E1	480
Tabla 444. Consumos térmicos del edificio E3	481
Tabla 445. Modelos de regresión del Edificio E3	482
Tabla 446. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E3	484
Tabla 447. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio E3.....	485
Tabla 448. Prueba de normalidad para el edificio E3	487
Tabla 449. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio E3 ...	491
Tabla 450. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio E3	492

Listado de Tablas

Tabla 451. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E3.	493
Tabla 452. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3. Modelo 1.	494
Tabla 453. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3. Modelo 2.	494
Tabla 454. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3	495
Tabla 455. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3	495
Tabla 456. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E3.....	496
Tabla 457. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E3.....	496
Tabla 458. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E3.....	496
Tabla 459. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E3.....	497
Tabla 460. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E3	498
Tabla 461. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E3	498
Tabla 462. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3	499
Tabla 463. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3	499
Tabla 464. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3	499
Tabla 465. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E3.....	500
Tabla 466. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	501
Tabla 467. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E3	501
Tabla 468. Consumos térmicos del edificio E4	502
Tabla 469. Modelos de regresión del Edificio E4.....	502
Tabla 470. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E4	503
Tabla 471. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E4.....	504
Tabla 472. Prueba de normalidad para el edificio E4	505
Tabla 473. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E4.	507
Tabla 474. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E4.....	508
Tabla 475. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E4	508
Tabla 476. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E4	508
Tabla 477. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E4.....	509
Tabla 478. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E4.....	510
Tabla 479. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E4	510
Tabla 480. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E4	510
Tabla 481. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E4.....	511
Tabla 482. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E4.....	512
Tabla 483. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	513
Tabla 484. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E4	513
Tabla 485. Consumos térmicos del edificio E5	514
Tabla 486. Modelos de regresión del Edificio E5.....	514
Tabla 487. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E5	515
Tabla 488. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E5.....	516
Tabla 489. Prueba de normalidad para el edificio E5	517
Tabla 490. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E5.	519
Tabla 491. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E5.....	520
Tabla 492. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E5	520
Tabla 493. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E5	520
Tabla 494. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E5.....	521
Tabla 495. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E5	521
Tabla 496. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E5	522

Listado de Tablas

Tabla 497. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E5.....	522
Tabla 498. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E5	523
Tabla 499. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E5	523
Tabla 500. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5.....	524
Tabla 501. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5	524
Tabla 502. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5	524
Tabla 503. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E5.....	525
Tabla 504. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	526
Tabla 505. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E5	526
Tabla 506. Consumos térmicos del edificio E6	527
Tabla 507. Modelos de regresión del Edificio E6	527
Tabla 508. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E6	528
Tabla 509. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E6.....	529
Tabla 510. Prueba de normalidad para el edificio E6	530
Tabla 511. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E6.	532
Tabla 512. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E6.....	533
Tabla 513. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E6	533
Tabla 514. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E6	533
Tabla 515. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E6.....	534
Tabla 516. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E6	534
Tabla 517. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E6	535
Tabla 518. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E6.....	535
Tabla 519. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E6	536
Tabla 520. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E6	536
Tabla 521. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6.....	537
Tabla 522. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6	537
Tabla 523. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6	537
Tabla 524. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E6.....	538
Tabla 525. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	539
Tabla 526. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E6	539
Tabla 527. Consumos térmicos del edificio E7	540
Tabla 528. Modelos de regresión del Edificio E7	540
Tabla 529. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E7	541
Tabla 530. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E7.....	542
Tabla 531. Prueba de normalidad para el edificio E7	543
Tabla 532. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E7.	545
Tabla 533. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E7.....	546
Tabla 534. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E7	546
Tabla 535. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E7	546
Tabla 536. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E7.....	547
Tabla 537. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E7	547
Tabla 538. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E7	548
Tabla 539. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E7.....	548
Tabla 540. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E7	549
Tabla 541. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E7	549
Tabla 542. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7.....	550

Listado de Tablas

Tabla 543. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7	550
Tabla 544. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7	550
Tabla 545. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E7.....	551
Tabla 546. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	552
Tabla 547. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E7	552
Tabla 548. Consumos térmicos del edificio E8	553
Tabla 549. Modelos de regresión del Edificio E8.....	554
Tabla 550. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E8	556
Tabla 551. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio E8.....	557
Tabla 552. Prueba de normalidad para el edificio E8	559
Tabla 553. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio E8...	563
Tabla 554. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio E8.....	564
Tabla 555. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E8.	565
Tabla 556. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8. Modelo 1. 566	
Tabla 557. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8. Modelo 2. 566	
Tabla 558. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8	566
Tabla 559. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8	567
Tabla 560. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E8.....	568
Tabla 561. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E8.....	568
Tabla 562. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E8.....	568
Tabla 563. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E8.....	569
Tabla 564. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E8	569
Tabla 565. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E8	570
Tabla 566. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8.....	571
Tabla 567. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8	571
Tabla 568. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8	571
Tabla 569. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E8.....	572
Tabla 570. Precios de referencia para Gas natural y Astilla.....	573
Tabla 571. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E8	573
Tabla 572. Consumos térmicos del edificio E13	574
Tabla 573. Modelos de regresión del Edificio E13.....	574
Tabla 574. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E13	575
Tabla 575. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E13.....	576
Tabla 576. Prueba de normalidad para el edificio E13	577
Tabla 577. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E13.	580
Tabla 578. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E13.....	581
Tabla 579. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E13	581
Tabla 580. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E13	581
Tabla 581. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E13.....	582
Tabla 582. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E13	582
Tabla 583. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E13	583
Tabla 584. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E13.....	583
Tabla 585. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E13	584
Tabla 586. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E13	584
Tabla 587. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E13.....	585
Tabla 588. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E13.....	586

Listado de Tablas

Tabla 589. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	587
Tabla 590. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E13	587
Tabla 591. Consumos térmicos del edificio E14	588
Tabla 592. Modelos de regresión del Edificio E14	588
Tabla 593. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E14	589
Tabla 594. Resumen de la bondad del modelo de regresión para el Edificio E14.....	590
Tabla 595. Prueba de normalidad para el edificio E14	591
Tabla 596. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E14.	593
Tabla 597. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E14.....	594
Tabla 598. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E14	594
Tabla 599. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E14	594
Tabla 600. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E14.....	595
Tabla 601. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E14	595
Tabla 602. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E14	596
Tabla 603. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E14.....	596
Tabla 604. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E14	597
Tabla 605. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E14	597
Tabla 606. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14.....	598
Tabla 607. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14	598
Tabla 608. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14	598
Tabla 609. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E14.....	599
Tabla 610. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	600
Tabla 611. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E14	600
Tabla 612. Consumos térmicos del edificio E15	601
Tabla 613. Modelos de regresión del Edificio E15.....	602
Tabla 614. Variables excluidas del modelo de región del Edificio E15	604
Tabla 615. Resumen de la bondad de los modelos de regresión para el Edificio E15.....	605
Tabla 616. Prueba de normalidad para el edificio E15	607
Tabla 617. Índice de condición de las variables independientes del Modelo 2 en el Edificio E15 .	611
Tabla 618. Estadísticos de colinealidad para los modelos del Edificio E15	612
Tabla 619. Consumos previstos octubre 2014 – mayo 2017 para el edificio E15.	613
Tabla 620. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E15. Modelo 2	614
Tabla 621. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E15	614
Tabla 622. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E15	614
Tabla 623. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E15.....	615
Tabla 624. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E15.....	615
Tabla 625. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2016-Abril 2017. Edificio E15	616
Tabla 626. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E15.....	616
Tabla 627. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E15	617
Tabla 628. Prueba de muestras relacionadas. Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E15	617
Tabla 629. Prueba de Normalidad temporada Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E15	618
Tabla 630. Estadísticos de muestras relacionadas. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E15	618
Tabla 631. Estimación del ahorro de emisiones de CO2 para el Edificio E15.....	619
Tabla 632. Precios de referencia para Gas natural y Astilla	620
Tabla 633. Ahorro Económico por el consumo térmico en el Edificio E15	620

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del consumo de energía final por sectores en el mundo, UE y España. 2016 .	7
Figura 2. Distribución del consumo de energía final por sectores en Castilla y León. 2014	7
Figura 3. Evolución de las emisiones de CO ₂ mundiales desde 2000 hasta 2017	9
Figura 4. Índice de evolución de las emisiones de CO ₂ en España (1990-2017)	10
Figura 5. Esquema de una red de calor	17
Figura 6. Tubería preaislada PEX (UPONOR) [50]	19
Figura 7. Tipos de tuberías de una red térmica	20
Figura 8. Evolución del número de redes de calor y frío en España (2013-2018)	31
Figura 9. Distribución del número de redes en España por Comunidades. 2018	32
Figura 10. Distribución de la potencia instalada en redes en España por Comunidades. 2018.....	32
Figura 11. Distribución porcentual del número de redes y potencia por Comunidades. 2018.....	33
Figura 12. Planteamiento de las cuestiones a resolver.....	39
Figura 13. Metodología utilizada en la investigación.....	44
Figura 14. Esquema de la situación de los edificios antes y después de su conexión a la red	49
Figura 15. Intervalos de rechazo de autocorrelación según el estadístico DW.....	54
Figura 16. Ubicación de la Central Térmica.....	62
Figura 17. Ramales de los dos circuitos	63
Figura 18. Ubicación de la red del Campus Miguel Delibes.	64
Figura 19. Campus Miguel Delibes.....	65
Figura 20. Esquema de ubicación de los edificios del Ramal del Campus Miguel Delibes.....	65
Figura 21. Ubicación del segundo ramal. Campus Río Esgueva y Zonas deportivas.....	66
Figura 22. Ubicación del Campus Río Esgueva	67
Figura 23. Esquema de ubicación de los edificios de la UVA del Ramal del Campus Río Esgueva ...	67
Figura 24. Esquema general de la red de calor.....	68
Figura 25. Vista posterior de la Central Térmica. Fachada Noroeste	69
Figura 26. Fachada principal de la Central Térmica. Suroeste. (Lorenzo, 2017) [107]	69
Figura 27. Vista aérea de la Central Térmica.....	70
Figura 28. Esquema de la Central térmica.....	70
Figura 29. Calderas iniciales. . (Lorenzo, 2017) [107]	71
Figura 30. Sistema de alimentación a las calderas.	71
Figura 31. Granulometría de la astilla. (Lorenzo, 2017) [107]	72
Figura 32. Líneas de llenado del silo. (Lorenzo, 2017) [107]	72
Figura 33. Descarga camión de astilla. (Lorenzo, 2017) [107].....	72
Figura 34. Piso móvil del silo.	73
Figura 35. Tornillo sinfin desde el silo a la alimentación de las calderas. (Lorenzo, 2017) [107]	73
Figura 36. Depósitos de inercia. (Lorenzo, 2017) [107]	74

Figura 37. Sistema multiciclónico y filtro de mangas. (Lorenzo, 2017) [107].....	74
Figura 38. Grupos de bombeo del circuito secundario. (Lorenzo, 2017) [107]	75
Figura 39. Esquema de principio. (Lorenzo, 2017) [107]	75
Figura 40. Tuberías de acero pre-aislado.	76
Figura 41. Red de distribución enterrada. (Lorenzo, 2017) [107].....	76
Figura 42. Red de distribución aérea.	77
Figura 43. Esquema de la subestación de intercambio en cada edificio. (Lorenzo, 2017) [107]	78
Figura 44. Subestación de calor. (Lorenzo, 2017) [107].....	78
Figura 45. Subestación de calor. . (Lorenzo, 2017) [107].....	78
Figura 46. Estación meteorológica en Zamadueñas [98]	83
Figura 47. Grados día en base 15 y 20.	90
Figura 48. Temperaturas (°C)	90
Figura 49. Humedad Relativa (%).....	91
Figura 50. Velocidad del viento (m/s)	91
Figura 51. Recorrido del viento (km) y Radiación (W/m ²).....	92
Figura 52. Precipitación acumulada (mm) y Horas de sol	92
Figura 53. Transformaciones de la Biomasa.....	101
Figura 54. Evolución de los precios de los combustibles 2015-2018.....	104
Figura 55. Ubicación del Edificio D1 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	107
Figura 56. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D1. 2015-2018	108
Figura 57. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1	109
Figura 58. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D1	110
Figura 59. Ubicación del Edificio D2 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	111
Figura 60. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D2. 2015-2018	112
Figura 61. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2	113
Figura 62. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D2	114
Figura 63. Ubicación del Edificio D3 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	115
Figura 64. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D3. 2015-2018	116
Figura 65. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3	117
Figura 66. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D3	118
Figura 67. Ubicación del Edificio D4 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	119
Figura 68. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D4. 2015-2018	120
Figura 69. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4	121
Figura 70. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D4	122
Figura 71. Ubicación del Edificio D5 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	123
Figura 72. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D5. 2015-2018	124
Figura 73. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5	125
Figura 74. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D5	126
Figura 75. Ubicación del Edificio D6 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	127
Figura 76. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D6. 2015-2018	128
Figura 77. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6	129
Figura 78. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D6	130
Figura 79. Ubicación del Edificio D7 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	131
Figura 80. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D7. 2015-2018	132
Figura 81. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7	133
Figura 82. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D7	134

Figura 83. Ubicación del Edificio D8 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	135
Figura 84. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D8. 2015-2018	136
Figura 85. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8	137
Figura 86. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D8	138
Figura 87. Ubicación del Edificio D9 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	139
Figura 88. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D9. 2015-2018	140
Figura 89. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9	141
Figura 90. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D9	142
Figura 91. Ubicación del Edificio D10 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	143
Figura 92. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D10. 2015-2018	144
Figura 93. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10	145
Figura 94. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D10	146
Figura 95. Ubicación del Edificio D11 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	147
Figura 96. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D11. 2015-2018	148
Figura 97. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11	149
Figura 98. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D11	150
Figura 99. Ubicación del Edificio D12 en el croquis del campus Miguel Delibes.....	151
Figura 100. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio D12. 2015-2018	152
Figura 101. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12	153
Figura 102. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio D12...	154
Figura 103. Consumo real acumulado y pronosticado (kWh). Campus Miguel Delibes	162
Figura 104. Emisiones reales acumuladas y pronosticadas (kg CO2). Campus Miguel Delibes	163
Figura 105. Ubicación del Edificio E1 en el croquis del campus Río Esgueva	166
Figura 106. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E1. 2015-2018	167
Figura 107. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1.....	168
Figura 108. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E1	169
Figura 109. Ubicación del Edificio E2 en el croquis del campus Río Esgueva.....	170
Figura 110. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E2. 2015-2018	171
Figura 111. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2.....	172
Figura 112. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E2	173
Figura 113. Ubicación del Edificio E3 en el croquis del campus Río Esgueva.....	174
Figura 114. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E3. 2015-2018	175
Figura 115. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3.....	176
Figura 116. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E3	177
Figura 117. Ubicación del Edificio E4 en el croquis del campus Río Esgueva.....	178
Figura 118. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E4. 2015-2018	179
Figura 119. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E4.....	180
Figura 120. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E4	181
Figura 121. Ubicación del Edificio E5 en el croquis del campus Río Esgueva.....	182
Figura 122. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E5. 2015-2018	183
Figura 123. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5.....	184
Figura 124. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E5	185
Figura 125. Ubicación del Edificio E6 en el croquis del campus Río Esgueva.....	186
Figura 126. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E6. 2015-2018	187
Figura 127. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6.....	188
Figura 128. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E6	189

Figura 129. Ubicación del Edificio E7 en el croquis del campus Río Esgueva.....	190
Figura 130. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E7. 2015-2018	191
Figura 131. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7.....	192
Figura 132. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E7	193
Figura 133. Ubicación del Edificio E8 en el croquis del campus Río Esgueva.....	194
Figura 134. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E8. 2015-2018	196
Figura 135. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8.....	197
Figura 136. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E8	197
Figura 137. Ubicación del Edificio E13 en el croquis del campus Río Esgueva.....	199
Figura 138. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E13. 2015-2018.....	200
Figura 139. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E13.....	201
Figura 140. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E13 ...	202
Figura 141. Ubicación del Edificio E14 en el croquis del campus Río Esgueva.....	203
Figura 142. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E14. 2015-2018.....	204
Figura 143. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14.....	205
Figura 144. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E14 ...	206
Figura 145. Ubicación del Edificio E15 en el croquis del campus Río Esgueva.....	207
Figura 146. Representación de los consumos pronosticados para el Edificio E15. 2015-2018.....	208
Figura 147. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E15.....	209
Figura 148. Consumo acumulado real y pronosticado. Octubre 2015-Mayo 2018. Edificio E15 ...	210
Figura 149. Consumo real acumulado y pronosticado (kWh). Campus Río Esgueva.....	217
Figura 150. Emisiones reales acumuladas y pronosticadas (kg CO ₂). Campus Río Esgueva	218
Figura 151. Consumo real acumulado y pronosticado (kWh). Campus Río Esgueva.....	227
Figura 152. Emisiones reales acumuladas y pronosticadas (kg CO ₂). UVA.....	231
Figura 153. Intervalos de confianza en una distribución normal.	243
Figura 154. Zonas de rechazo en pruebas bilaterales.....	246
Figura 155. Ubicación Apartamentos Cardenal Mendoza (D1).	255
Figura 156. Fotografía de los Apartamentos Cardenal Mendoza (D1).	256
Figura 157. Biblioteca de los Apartamentos Cardenal Mendoza (D2)	256
Figura 158. Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas. CTTA. (D3).....	256
Figura 159. Fotografías del Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas. CTTA. (D3).....	257
Figura 160. Biblioteca – Aulario Miguel Delibes (D4).....	257
Figura 161. Fotografías de la Biblioteca – Aulario Miguel Delibes (D4).....	257
Figura 162. Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada. IOBA. (D5)	258
Figura 163. Fotografías del Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada. IOBA. (D5)	258
Figura 164. Facultad de Ciencias (D6)	259
Figura 165. Fotografías de Facultad de Ciencias (D6)	259
Figura 166. Telecomunicaciones e Informática (D7)	259
Figura 167. Fotografía de Telecomunicaciones e Informática (D7).....	260
Figura 168. Edificio Química Fina y Materiales Avanzados (QUIFIMA) (D8)	260
Figura 169. Fotografías del Edificio Química Fina y Materiales Avanzados (QUIFIMA) (D8)	260
Figura 170. Gimnasio de la UVA. (D9).....	261
Figura 171. Fotografía del Gimnasio de la UVA (D9)	261
Figura 172. Centro de Idiomas (D10)	262
Figura 173. Fotografía del Centro de Idiomas (D10).....	262
Figura 174. Facultad de Educación y Trabajo Social (D11).....	262

Listado de Figuras

Figura 175. Fotografía Facultad de Educación y Trabajo Social (D11)	263
Figura 176. Edificio de I+D (D12)	263
Figura 177. Fotografía del Edificio de I+D (D12)	263
Figura 178. Edificio del Servicio de Mantenimiento (E1)	264
Figura 179. Fotografía de edificio del servicio de mantenimiento (E1)	264
Figura 180. Facultad de Comercio (E2)	265
Figura 181. Fotografías de la Facultad de Comercio (E2).....	265
Figura 182. Facultad de Filosofía y Letras (E3)	265
Figura 183. Fotografías de la Facultad de Filosofía y Letras (E3).....	266
Figura 184. Antigua Facultad de Ciencias. Escuela de Ingenierías Industriales (E4).....	266
Figura 185. Fotografías Antigua Facultad de Ciencias. Escuela de Ingenierías Industriales (E4) ...	266
Figura 186. Edificio Alfonso VIII (E5)	267
Figura 187. Fotografías Edificio Alfonso VIII (E5).....	267
Figura 188. Colegio Mayor Femenino Santa Cruz (E6).....	268
Figura 189. Fotografías del Colegio Mayor Femenino Santa Cruz (E6)	268
Figura 190. Instituto de Biología Genética y Molecular. (IBGM) (E7)	268
Figura 191. Fotografías del Instituto de Biología Genética y Molecular. (IBGM) (E7)	269
Figura 192. Facultad de Ciencias de la Salud (E8).....	269
Figura 193. Fotografías Facultad de Ciencias de la Salud (E8).....	270
Figura 194. Facultad de Económicas (E13).....	270
Figura 195. Fotografías de la Facultad de Económicas (E13)	271
Figura 196. Aulario del Campus Esgueva (E14)	271
Figura 197. Fotografías del Aulario del Campus Esgueva (E14).....	271
Figura 198. Escuela de Ingenierías Industriales (sede Paseo del Cauce) (E15)	272
Figura 199. Fotografías de la Escuela de Ingenierías Industriales (sede Paseo del Cauce) (E15) ...	272
Figura 200. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D1	275
Figura 201. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio D1	275
Figura 202. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D1. Modelo 1	280
Figura 203. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D1. Modelo 1	281
Figura 204. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D1. Modelo 2	282
Figura 205. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D1. Modelo 2	282
Figura 206. Relación entre la velocidad nocturna y los residuos. Edificio D1. Modelo 2	282
Figura 207. Gráfico de la temperatura media y la velocidad del viento nocturno.	283
Figura 208. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D1	287
Figura 209. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D1.....	289
Figura 210. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D1	290
Figura 211. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D2	295
Figura 212. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D2.....	298
Figura 213. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D2	299
Figura 214. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D2	302
Figura 215. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D2	303
Figura 216. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D2	304
Figura 217. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D3	309
Figura 218. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D3.....	312
Figura 219. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D3	312
Figura 220. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D3	315

Figura 221. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D3	316
Figura 222. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D3	318
Figura 223. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D4	323
Figura 224. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio D4	326
Figura 225. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D4.....	327
Figura 226. Relación entre Temperatura media y los residuos en el Edificio D4	327
Figura 227. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D4	330
Figura 228. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D4.....	331
Figura 229. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D4	332
Figura 230. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D5	337
Figura 231. Relación entre los pronósticos y los residuos en el edificio D5.....	340
Figura 232. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D5	340
Figura 233. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D5	343
Figura 234. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D5	344
Figura 235. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D5	345
Figura 236. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D6.....	350
Figura 237. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D6.....	353
Figura 238. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D6	353
Figura 239. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D6	356
Figura 240. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D6	357
Figura 241. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D6	358
Figura 242. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D7	363
Figura 243. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D7.....	366
Figura 244. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D7	366
Figura 245. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D7	369
Figura 246. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D7	370
Figura 247. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D7	371
Figura 248. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D8	376
Figura 249. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio D8	377
Figura 250. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio D8. Modelo 2.....	382
Figura 251. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D8. Modelo 1	383
Figura 252. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D8. Modelo 1.....	383
Figura 253. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D8. Modelo 2	384
Figura 254. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D8. Modelo 2.....	384
Figura 255. Relación entre la velocidad del viento nocturna y los residuos. Edificio D8. Modelo 2	385
Figura 256. Gráfico de la temperatura media y la velocidad del viento diurna.	386
Figura 257. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D8	389
Figura 258. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D8	391
Figura 259. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D8	392
Figura 260. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D9	397
Figura 261. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D9.....	400
Figura 262. Relación entre Grados día Base 15 y los residuos en el Edificio D9.....	400
Figura 263. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D9	403
Figura 264. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D9.....	404
Figura 265. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D9	405
Figura 266. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D10	410

Figura 267. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D10.....	413
Figura 268. Relación entre Temperatura media y los residuos en el Edificio D10	413
Figura 269. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D10	416
Figura 270. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D10	417
Figura 271. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D10	418
Figura 272. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D11	423
Figura 273. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio D11	423
Figura 274. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio D11. Modelo 2.....	427
Figura 275. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D11. Modelo 1	428
Figura 276. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D11. Modelo 1	429
Figura 277. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D11. Modelo 2	429
Figura 278. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio D11. Modelo 2	430
Figura 279. Relación entre Grados día Base 15 y los residuos. Edificio D11. Modelo 2	430
Figura 280. Gráfico de la temperatura media y los Grados día Base 15.	431
Figura 281. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D11	434
Figura 282. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Abril 2017. Edificio D11	436
Figura 283. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D11	437
Figura 284. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio D12	442
Figura 285. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio D12	445
Figura 286. Relación entre GD15 y los residuos en el Edificio D12.....	445
Figura 287. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio D12	448
Figura 288. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio D12	449
Figura 289. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio D12	450
Figura 290. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E1	456
Figura 291. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio E1	459
Figura 292. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E1	460
Figura 293. Relación entre GD20_24h y los residuos en el Edificio E1	460
Figura 294. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E1.....	463
Figura 295. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E1.....	464
Figura 296. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E2	469
Figura 297. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio E2.....	472
Figura 298. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E2	473
Figura 299. Relación entre T_min y los residuos en el Edificio E2	473
Figura 300. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E2.....	476
Figura 301. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E2.....	477
Figura 302. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E3	483
Figura 303. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio E3.....	483
Figura 304. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio E3. Modelo 2	488
Figura 305. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E3. Modelo 1	489
Figura 306. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E3. Modelo 1	489
Figura 307. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E3. Modelo 2	490
Figura 308. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E3. Modelo 2	490
Figura 309. Relación entre la velocidad del viento nocturna y los residuos. Edificio E3. Modelo 2	491
Figura 310. Gráfico de la temperatura mínima y la velocidad del viento diurna.	492
Figura 311. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E3.....	495
Figura 312. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E3.....	497

Figura 313. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E3.....	498
Figura 314. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E4	503
Figura 315. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E4	506
Figura 316. Relación entre GD20_24h y los residuos en el Edificio E4	506
Figura 317. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E4.....	509
Figura 318. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E4.....	511
Figura 319. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E5	515
Figura 320. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E5	518
Figura 321. Relación entre GD15_30min y los residuos en el Edificio E5	518
Figura 322. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E5.....	521
Figura 323. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E5.....	522
Figura 324. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E5.....	523
Figura 325. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E6	528
Figura 326. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E6	531
Figura 327. Relación entre T_med y los residuos en el Edificio E6.....	531
Figura 328. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E6.....	534
Figura 329. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E6.....	535
Figura 330. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E6.....	536
Figura 331. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E7	541
Figura 332. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E7	544
Figura 333. Relación entre GD15_30min y los residuos en el Edificio E7	544
Figura 334. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E7.....	547
Figura 335. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E7.....	548
Figura 336. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E7.....	549
Figura 337. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E8	554
Figura 338. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio E8.....	555
Figura 339. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E8. Modelo 1	560
Figura 340. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E8. Modelo 1	561
Figura 341. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E8. Modelo 2	561
Figura 342. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E8. Modelo 2	562
Figura 343. Relación entre la velocidad del viento nocturna y los residuos. Edificio E8. Modelo 2	562
Figura 344. Gráfico de la temperatura mínima y la velocidad del viento diurna.	563
Figura 345. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E8.....	567
Figura 346. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E8.....	569
Figura 347. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E8.....	570
Figura 348. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E13.....	575
Figura 349. Relación entre los residuos y el tiempo en el Edificio E13.....	578
Figura 350. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E13	579
Figura 351. Relación entre T_max y los residuos en el Edificio E13	579
Figura 352. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E13.....	582
Figura 353. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E13.....	583
Figura 354. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E13.....	584
Figura 355. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E14.....	589
Figura 356. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E14	592
Figura 357. Relación entre GD20_24h y los residuos en el Edificio E14	592
Figura 358. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E14.....	595

Figura 359. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E14.....	596
Figura 360. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E14.....	597
Figura 361. Representación del modelo de regresión lineal simple para el Edificio E15.....	602
Figura 362. Representación del modelo de regresión lineal múltiple para el Edificio E15.....	603
Figura 363. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E15. Modelo 1.....	608
Figura 364. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E15. Modelo 1	609
Figura 365. Relación entre los pronósticos y los residuos en el Edificio E15. Modelo 2.....	609
Figura 366. Relación entre la Temperatura media y los residuos en el Edificio E15. Modelo 2	610
Figura 367. Relación entre la velocidad máxima y los residuos. Edificio E15. Modelo 2.....	610
Figura 368. Gráfico de la temperatura mínima y la velocidad del viento máxima.	611
Figura 369. Consumos reales y pronosticados Octubre 2015-Mayo 2016. Edificio E15.....	615
Figura 370. Consumos reales y pronosticados Octubre 2016-Mayo 2017. Edificio E15.....	616
Figura 371. Consumos reales y pronosticados Octubre 2017-Mayo 2018. Edificio E15.....	617