

V

CONGRESO
DE SERVICIOS
ENERGÉTICOS

ESES

IMPULSANDO
LA ENERGÍA SOSTENIBLE



VALLADOLID, 2 Y 3 DE OCTUBRE DE 2018
CENTRO CULTURAL MIGUEL DELIBES

ESES

WWW.CONGRESOESES.COM

COMUNICACIONES

 el Instalador
Interempresas media

Índice

TÍTULO	AUTORES	EMPRESA	PÁG.
Algoritmo de control de elementos de sombras y climatización zonificada en el sector residencial	<i>F. Fernández, J.M. Peña, J.A. Bandera y M.C. González</i>	ALTRA S.L.	7
Empresas de Servicios Energéticos en instalaciones deportivas, caso de éxito Duet Sport	<i>E. Castaño, M. Guadalfajara y J. Bigas</i>	APPLUS	13
District Heating Soldeu (Andorra)	<i>M. Ruiz</i>	BOSCH TERMOTECNIA	19
Esquemas de garantía de calidad en servicios energéticos	<i>P.L. Espejo</i>	CREARA	25
Fomento del uso de gas natural en Canarias mediante modelos de servicios energéticos: Caso en Panificadora	<i>A. A. Martínez</i>	ENDESA ENERGÍA	29
Partner Energético & Gestión Activa	<i>V. García</i>	ENGIE	35
District Heating Txomin Enea	<i>A. Aguilar</i>	FERROVIAL SERVICIOS	41
Monitorización y seguimiento de consumos basados en análisis de regresión	<i>Luis Marqués</i>	GEN EUROPE	47
Sistemas inteligentes de producción de frío	<i>J. Febres, R. Sterling, Susana López y Marcus M. Keane</i>	IK4-TEKNIKER	53
Nuevo concepto de mantenimiento en los EECN residenciales, la garantía del éxito	<i>Fernando Aranda Moreno</i>	INCASOL	59
Nuevas técnicas para hacer posible (y deseable) la participación del usuario en la gestión energética del edificio	<i>M.T. Cuerdo-Vilches y M.A. Navas-Martín</i>	INSTITUTO TORROJA	65
Plataforma Big Data de gestión integral de alumbrado	<i>J.C. García y A. Ramírez</i>	LETTER INGENIEROS	71

Incrementando el valor de los edificios en base al bienestar de las personas	<i>Rafael Lledó</i>	LLEDÓ	77
Mejora de la eficiencia energética en la planta de cogeneración asociada a la industria farmacéutica QUALICAPS EUROPE	<i>Miguel Duvison Santiago, Daniel Gala Rodrigo y Miguel Ángel Rodríguez Castellote</i>	NATURGY	83
Cofast: cargador rápido eficiente de VEs	<i>J. Perchés</i>	PASCH	89
Proyecto de servicios de mejora de la eficiencia energética y mantenimiento del Museo Nacional de Arte de Cataluña (MNAC)	<i>A. Martín, F. Fernández, F.J. Del Saz, S. Jimenez</i>	SACYR	93
Utilización de colectores de concentración solar para la generación de media temperatura en procesos industriales de PYMES	<i>M. Frasset, D. Crespo y M. Silva</i>	SOLATOM	97
Rehabilitación de nave industrial para la creación de teatro infantil en el antiguo cuartel de Daoiz y Velarde en Madrid	<i>M. Durango e I. Ortega</i>	UPONOR	103
Determinación de la eficiencia energética alcanzada por la implantación de un district heating en el campus Miguel Delibes de la Universidad de Valladolid	<i>A. M. Marina Domingo, J.F. San José Alonso, R. Mata Crespo, F.J. Rey Martínez</i>	UVA	107
Rehabilitación energética y red de calor en el barrio de Torrelago: evaluación de los ahorros con la aplicación del IPMVP	<i>J.L. Barrientos Moreno y J. Martín Sanz</i>	VEOLIA	113

Determinación de la eficiencia energética alcanzada por la implantación de un district heating en el campus Miguel Delibes de la Universidad de Valladolid

ÁREA TEMÁTICA 4: Exposición de casos reales de servicios energéticos

107

Autores de la comunicación: A. M. Marina Domingo¹, J.F. San José Alonso², R. Mata Crespo³ y F.J. Rey Martínez⁴

¹ Universidad de Valladolid. Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Paseo del Cauce, 59 - 47011 Valladolid

² Universidad de Valladolid. Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Paseo del Cauce, 59 - 47011 Valladolid

³ Universidad de Valladolid. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Paseo del Cauce, 59 - 47011 Valladolid

⁴ Universidad de Valladolid. Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Paseo del Cauce, 59 - 47011 Valladolid

Resumen: El artículo analiza la reducción del consumo energético producido por la implantación de una red de calor en el campus Miguel Delibes de la Universidad de Valladolid (UVA), servicio energético proporcionado por la Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León (SOMACYL) a la UVA.

Para el análisis se crearon las líneas base de los consumos de los edificios del campus mediante ecuaciones de regresión lineal para un nivel de confianza del 95%, modelos obtenidos a partir de consumos históricos y de variables climáticas.

El artículo presenta la metodología estadística empleada para la aceptación de esos modelos, seleccionando las variables climáticas más influyentes. El estudio ha permitido establecer, que las variables con las que el consumo se correlaciona mejor son los Grados día base 15 para el 58% de los edificios y la temperatura media para el 42% restante.

El ahorro obtenido hasta la fecha con esta red de tercera generación es significativo y superior al 21% de media, para el 33% de los edificios del campus, para el 17% de los mismos, existe un aumento significativo del consumo del 20% y para el 50% restante de los edificios, no se han encontrado diferencias significativas entre el consumo antes y después de la implantación del district-heating.

Palabras clave: District heating, eficiencia energética, línea base, predicción y verificación.

1. INTRODUCCIÓN

El sector edificatorio consume más de una tercera parte de la energía mundial [KALLERT, D. et al. (2017)], y es el responsable del 30 % de las emisiones totales de CO₂ [AHMAD, M. W. et al. (2016)]; para frenar estas emisiones, la Unión Europea se ha marcado el objetivo para el año 2050 [CONNOLLY, H. et al. (2014)], de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 80% en comparación con los niveles de 1990 [DEVENTER, H. et al. (2017)], con ello se pretende frenar el aumento de la temperatura global, limitando ese aumento a 2° C en el 2050 [IPCC. Climate Change 2014].

Paralelamente al avance de las políticas medioambientales para frenar las emisiones, se sitúan las políticas energéticas que se centran en la reducción de los consumos, actuando desde tres niveles [ASTE, N. et al. (2012)]: reduciendo la demanda, aumentando la eficiencia de los sistemas e integrando fuentes de energía renovables y todo ello puede ser implementado en una red de calor.

Según ADHAC (Asociación de Redes de Calor y Frío de España), a finales de 2017, en Europa se concentraron el 64,1% de las redes de calor mundiales, lo que supone más de 5.000 redes, con más de 425 GW de potencia y más de 200.000

km de tubería instalada [WERNER, S. (2017)] mientras que, en España, sólo había 352 redes de calor con 1.280 MW de potencia instalada, ubicándose más del 60% de esta potencia en Madrid y Cataluña. En Castilla y León, existen 56 redes con una potencia total instalada de 92,7 MW; una de esas redes con una potencia de 14,1 MW es la de la UVA. Esta red fue construida en el 2015, como medio para satisfacer una demanda de calor de 22.000 MWh/año. Presenta dos anillos: uno al que se unen los 12 edificios pertenecientes al Campus Miguel Delibes y otro al que se unen 11 edificios del Campus Esgueva y 4 edificios pertenecientes a la administración regional; lo que hace un total de 27 edificios, existiendo la posibilidad de conectar más edificios colindantes.

El sistema de generación está compuesto por tres calderas de astilla de 4,7 MW cada una y posee un silo de almacenamiento para 540 toneladas de astilla. La red de distribución se compone de 11.200 m de tubería de acero preaislada en su mayor parte enterrada, con diámetros desde 32 a 350 mm. El sistema utiliza como fluido caloportador el agua a una temperatura máxima de 109°C, retornando a las calderas a temperaturas superiores a los 60°C. Existen dos depósitos de inercia de 40.000 litros cada uno. En la sala de calderas de cada edificio se ha instalado una subestación de intercambio térmico con temperaturas de diseño en el primario: 90/70°C y en el secundario: 80/65°C, por lo que es una red de tercera generación, ejecutada con un presupuesto de 5 millones de €, con los objetivos de evitar 6.800 toneladas de CO₂/año, obtener unos ahorros económicos del 30% y una reducción del consumo anual de calefacción de al menos el 15%.

El presente artículo se centra en el anillo del Campus Universitario Miguel Delibes, que cuenta con 12 edificios conectados. En la tabla 1, se recoge: la denominación, el tipo de edificio de que se trata, la potencia instalada y la potencia de la subestación de intercambio instalada. Estos edificios con 8,89 MW. Todos los edificios inicialmente funcionaban con gas natural.

Tabla 1. Nomenclatura de los edificios, potencia instalada y de la subestación de intercambio.

		Tipo de edificio	kW instalados inicialmente	kW de la subestación de intercambio con la red
D3	EDIFICIO CTTA (Centro de Transferencia de Tecnologías Aplicadas)	Docente	348,0	342,0
D5	EDIFICIO IOBA (Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada)	Docente	81,4	80,0
D10	CENTRO DE IDIOMAS	Docente	325,6	326,0
D1	APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA	Residencial	1.554,4	1.454,0
D2	BIBLIOTECA DE APARTAMENTOS CARDENAL MENDOZA	Docente	40,9	42,0
D4	BIBLIOTECA AULARIO MIGUEL DELIBES	Docente	860,0	1.140,0
D6	FACULTAD DE CIENCIAS	Docente	1.162,8	1.120,0
D8	EDIFICIO QUIFIMA (Edificio de Química Fina y Materiales Avanzados)	Docente	465,1	460,0
D9	GIMNASIO DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN	Deportivo	507,0	504,0
D11	FACULTAD DE EDUCACIÓN Y TRABAJO SOCIAL	Docente	1.000,0	1.000,0
D12	EDIFICIO I+D	Docente	802,3	802,0
D7	EDIFICIO TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA	Docente	1.953,5	1.620,0
DELIBES	TOTAL 12 edificios del campus Miguel Delibes		9.101,0	8.890,0

La temporada de calefacción para todos los edificios es desde el 15 de octubre al 15 de mayo.

2. OBJETIVO

El principal objetivo es modelar el consumo de energía del district heating del campus Miguel Delibes de la UVA y compararlo con el consumo real, a fin de evaluar, si se han alcanzado los ahorros energéticos propuestos. Los objetivos específicos son:

- Determinar cuáles son las variables más influyentes en el consumo térmico de los edificios
- Modelizar los consumos de los edificios en una línea base que sea función de las variables.
- Obtener los consumos esperados al ir modificando el valor de las variables más influyentes
- Cuantificar el ahorro energético obtenido con la red.

3. DATOS Y RESULTADOS

La metodología aplicada en este estudio se basa en el análisis estadístico de los consumos antes y después de la construcción de la red. Los pasos seguidos en la investigación con los 12 edificios del Campus Miguel Delibes, han sido:

Obtención y tratamiento de las variables climáticas.

Las variables, susceptibles de ser los parámetros independientes, se obtuvieron cada 30 minutos de los últimos 5 años de una estación climática ubicada en Zamadueñas (Valladolid), propiedad del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y fueron las relativas a las siguientes variables: 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 y Horas de sol.

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

Se recopilaron los consumos térmicos mensuales desde el 2012 al 2017, correspondientes a los edificios del Campus. 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 2015 – 2016 y 2016 – 2017 como periodos posteriores.

Estos consumos, siguiendo el protocolo de medida y verificación: IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) 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.

Análisis estadístico de las variables correlacionadas con el consumo.

El estudio se ha realizado con el software SPSS y utilizado técnicas de inferencia estadística en todo el proceso, con un nivel de confianza al 95%. Un primer paso fue determinar las variables climáticas independientes para cada edificio y con peso significativo en el análisis de regresión. El procedimiento usado fue el de "Pasos sucesivos (stepwise)", que consiste en ir elaborando sucesivas ecuaciones de regresión en las que se va añadiendo cada vez un regresor más. [WALPOLE, R.E. et al. (2012)].

Obtención de los modelos de regresión.

Se buscaron los modelos de regresión que representan 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 es: $kWh = Cte + \beta \times Variable$.

Para los modelos multivariantes o de regresión múltiple, que contienen más de un regresor la ecuación es: $kWh = Cte + \beta_1 \times Variable_1 + \beta_2 \times Variable_2$.

Las hipótesis a comprobar fueron:

- Linealidad de las variables.
- Normalidad de las variables y los residuos, mediante el test de Shapiro – Wilk.
- Independencia (no autocorrelación) de los residuos, con el contraste de Durbin-Watson.
- 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 comprobó también:

- Falta de multicolinealidad en las variables independientes.

Los modelos de regresión encontrados son los que se muestran en la tabla II. Para el edificio D1 (Apartamentos) se encontró un modelo de regresión múltiple que predecía con mayor correlación el consumo esperado. En la tabla se indican los términos independientes y las pendientes de las variables regresora (β), los coeficientes de correlación lineal de Pearson (R) y los coeficientes de determinación lineal entre las variables (R^2).

Tabla II. Modelos de regresión.

	Modelo simple					Modelo multivariable						
	Variable	Constante	β	R	R^2	Variable_1	Variable_2	Constante	β_1	β_2	R	R^2
D3	GD15	-6.854.944	192.510	0.921	0.848							
D5	GD15	-653.894	56.535	0.993	0.986							
D10	T med	66.791.063	-4.393.782	-0.896	0.802							
D1	T med	391.037.854	-23.838.939	-0.899	0.808	T med	V Nocturna	271.370.906	-20.045.184	50.568.513	-0,931	0,866
D2	GD15	-663.338	38.971	0.985	0.970							
D4	T med	271.046.123	-17.453.026	-0.940	0.884							
D6	GD15	-6.540.157	656.818	0.995	0.989							
D8	T med	91.484.52	-5.414.10	-0.906	0.821							
D9	GD15	-654.602	139.864	0.999	0.997							
D11	T med	187.840.052	-12.648.948	-0.898	0.807							
D12	GD15	-663.549	173.214	0.999	0.998							
D7	GD15	-6.543.072	733.335	0.996	0.991							

En siete de los doce edificios, un 58,3% de los edificios del campus, la variable explicativa encontrada fueron los Grados día en base 15; el resto de los modelos, el 41,7% restante correlacionaron mejor con la Temperatura media y en el edificio D1, en el modelo de regresión múltiple, se introduce una nueva variable que es la velocidad del viento nocturna.

El valor absoluto de la correlación entre las variables independientes se situó entre 0,896 y 0,999, siendo positivo para los modelos explicados con la variable de Grados día base 15 y negativo para los de la temperatura media. El coeficiente de determinación varió entre 0,802 y 0,998, por lo que, aceptando un riesgo a error del 5%, los modelos encontrados pronostican los consumos esperados con una probabilidad de aciertos superior al 80%.

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.

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%. Se utilizó la prueba paramétrica "t" de Student para muestras relacionadas. Si las variables se distribuyen según una normal y la significación estadística resulta $\leq 0,05$, 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, W. (2006)].

Las diferencias encontradas para cada edificio y cada temporada de calefacción se muestran en las tablas III y IV, se somborean las diferencias que han sido estadísticamente significativas. Los ahorros que aparecen como negativos son aumentos de consumo.

Tabla III. Diferencias significativas en el modelo de regresión múltiple.

	Variable independiente 1	Variable independiente 2	% Ahorro 2016-2017	Significativo	% Ahorro 2016	Significativo	% Ahorro 2017	Significativo
D1	T med	V Nocturna	24,8%	SI	26,5%	SI	22,8%	SI

Tabla IV. Diferencias significativas en los modelos de regresión lineal simple.

	Variable independiente	% Ahorro 2016-2017	Significativo	% Ahorro 2016	Significativo	% Ahorro 2017	Significativo
D3	GD15	9,5%	NO	0,6%	NO	18,1%	NO
D5	GD15	-16,1%	SI	-20,1%	NO	-12,0%	NO
D10	T med	5,2%	NO	5,8%	NO	4,5%	NO
D1	T med	20,0%	SI	18,5%	SI	21,6%	SI
D2	GD15	30,6%	SI	27,6%	NO	34,4%	SI
D4	T med	15,7%	SI	19,4%	NO	11,7%	NO
D6	GD15	-11,1%	NO	-16,0%	NO	-6,4%	NO
D8	T med	-11,9%	NO	-1,8%	NO	-23,0%	SI
D9	GD15	0,9%	NO	3,7%	NO	-1,9%	NO
D11	T med	13,6%	NO	12,9%	NO	14,4%	NO
D12	GD15	18,9%	SI	12,2%	NO	25,7%	SI
D7	GD15	10,9%	NO	7,8%	NO	13,9%	NO

4. DISCUSIÓN

Todos los edificios estudiados, utilizaban calderas de gas natural como sistema inicial y en el 50% de ellos, no se han obtenido diferencias estadísticamente significativas entre los consumos de antes y después de la red de calor; pero sí ahorros económicos y de emisiones al sustituir el gas natural por la astilla. El siguiente paso en la red de la UVA, es el uso de energía solar térmica para ACS, lo que sin duda permitirá aumentar la eficiencia energética de la red, siendo, además, el paso lógico para su conversión paulatina a una red de cuarta generación.

5. CONCLUSIONES

- 1) El caso estudiado, constituye un ejemplo demostrativo de cómo una red de calor con biomasa puede mejorar el comportamiento medioambiental de una ciudad. Esta red ha logrado una reducción de 6.800 toneladas de CO₂ según la propia UVA, por el hecho de haber cambiado el gas natural por la biomasa (astilla), obteniendo con ello también un importante ahorro económico superior al 30%.
- 2) En el 58% de los edificios la variable que correlaciona mejor en el modelo encontrado para la línea base fueron los grados – día en base 15, mientras que en el 42% restante fue la temperatura media. Variables como las humedades relativas, precipitaciones, radiación o velocidades del viento, no fueron significativas en los modelos de regresión encontrados.
- 3) Para un 33% de los edificios del campus, el ahorro obtenido hasta fecha con esta red de tercera generación es significativo y superior al 21% de media, para un 17% de los edificios del campus, existe un aumento significativo del consumo, estimándose su media entorno al 20% y para el 50% restante de los edificios, no se han encontrado diferencias significativas en el consumo antes y después de la implantación del district – heating.

6. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Valladolid (UVA), al Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción (ITAP) y a la Sociedad Pública de Infraestructuras y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León (SOMACYL).

7. BIBLIOGRAFÍA

AHMAND, M. W, 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.

ASTE, N, CAPUTO, P, BUZZETTI, M. (2012). "District heating: results of a monitoring campaign in Lombardy Region". Energy Procedia.

CONNOLLY, D, LUND, H, MATHIESEN, B. V, WERNER, S, MÓLLER, B, PERSSON, U, BOERMANS, T, TRIER, D, OSTERGAARD, P. A, NIELSEN, S. (2014). "Heat Road Map Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonize the EU energy system". Energy policy.

DEVENTER, J. V, DERHAMY, H, ATTA, K, DELSING, J. (2017). "Service Oriented Architecture enabling the 4th Generation of District Heating". The 15th International Symposium on district heating and Cooling. Energy Procedia.

KALLERT, SCHMIDT, D, BLASE, T. (2017). "Exergy-based analysis of renewable multi-generation units for small scale low temperature district heating supply". Energy Procedia.

NAVIDI, W. (2006). Estadística para ingenieros y científicos. McGraw-Hill.

WALPOLE R. E, MYERS R.H. & MYERS S. L. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias (Novena edición). Prentice Hall.

WERNER, S. (2017). "International review of district heating and cooling". Energy.