



Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Y
FLUIDOMECÁNICA**

TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA INSTALACIÓN DE
CLIMATIZACIÓN DE UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO
SINGULAR PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO
ENERGÉTICO Y DE LAS EMISIONES DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO**

**Presentada por D. Juan Carlos Herrera Merino para optar al grado de doctor por
la Universidad de Valladolid**

Dirigida por:

Dra. M^a del Carmen Martín González

Dr. César R. Chamorro Camazón

Valladolid. Mayo de 2017

Dedicatoria

Dedicado a mis padres

Agradecimientos

Esta Tesis no hubiera sido posible sin todas aquellas personas que me han ayudado y apoyado, y aquellas que han sido pacientes durante todas las horas que ha conllevado la elaboración de este trabajo, más allá incluso de lo admisible. Muchas gracias a todos, en especial a mis padres.

Es justo estar muy agradecido mis tutores de Tesis Carmen y César sin cuyas recomendaciones y ayudas esta Tesis no hubiera sido posible.

Muchas gracias.

Resumen

En la presente tesis doctoral se presenta el desarrollo de herramientas informáticas. software. que ha permitido adquirir datos reales del sistema de gestión del edificio de una manera autónoma y robusta. posteriormente se describe un análisis del sistema de calefacción con el objetivo de obtener datos del rendimiento diario de la instalación. y permitir analizar la influencia de ciertos parámetros internos (temperatura de consigna o modo de funcionamiento) y de otros factores externos (temperatura exterior. humedad relativa. demanda energética) sobre el rendimiento de la instalación.

Todo ello con el fin de mejorar el rendimiento y discernir si ciertas recomendaciones de sobre la programación diaria de los sistemas de control llevan a un ahorro energético.

También se presenta un análisis del sistema de refrigeración. que se basa en las mismas herramientas informáticas que en el caso anterior. pero además de estudiar el comportamiento del rendimiento de la instalación al variar factores externos. se realiza un estudio comparativo sobre la bondad de instalar máquinas enfriadoras condensadas por aire y máquinas enfriadoras condensadas por agua.

Para ello se utilizaron los datos proporcionados por las máquinas condensadas por aire que fueron originalmente instaladas durante la construcción del edificio. con los datos que proporciona una máquina enfriadora condensada por agua mediante un enfriador adiabático y que fue instalada varios años más tarde con el objetivo de disminuir la factura energética y debido al incremento de precios de la energía eléctrica.

En ambos casos se realizan análisis económicos y medioambientales que son presentados en el capítulo de conclusiones de la tesis doctoral.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	23
1.1 INTRODUCCIÓN. PANORAMA ENERGÉTICO. SITUACIÓN ACTUAL	25
1.1.1 Panorama energético a nivel mundial	25
1.1.2 Situación energética en España. Situación actual y evolución.	27
1.2 OBJETIVOS	31
1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	31
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	35
2.1 CLIMATIZACIÓN EN EDIFICIOS DE USO TERCIARIO	37
2.1.1 Calificación energética de edificios:.....	38
2.1.2 Ahorro y eficiencia energética.....	41
2.2 ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS	42
2.2.1 Calefacción: Estudios y tecnología de calefacción.	43
2.2.2 Refrigeración: Estudios y tecnología.....	46
2.2.3 Climatización con Materiales de Cambio de Fase (PCM).....	51
2.3 REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS	55
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN	59
3.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	61
3.2 REQUERIMIENTOS DE CLIMATIZACIÓN DEL EDIFICIO	62
3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN	64
3.3.1 Sistema de producción de calor.....	64
3.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	65
3.4.1 Sistema de producción de frío.....	65

3.4.2	Distribución de energía en el sistema de refrigeración.....	67
3.5	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA TERMICA.....	67
3.5.1	Elementos terminales	69
3.5.2	Elementos de la instalación: Valvulería y conexionado.	72
3.6	SIMULACIÓN ENERGÉTICA. USO DEL PROGRAMA CE3.....	76
3.6.1	Datos necesarios para realizar la simulación	76
3.6.2	Simulación: Resultados.	86
	CAPÍTULO 4: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	91
4.1	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. INTRODUCCIÓN.....	93
4.2	INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	95
4.3	HARDWARE: DESCRIPCIÓN.....	102
4.4	SOFTWARE.....	107
4.4.1	Software comercial. Siemens Desigo Insight.	107
4.4.2	Software desarrollado para la gestión de los datos.	110
	CAPÍTULO 5: FUNCIONAMIENTO EN MODO INVIERNO. ANÁLISIS DEL	
	SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL EDIFICIO.....	121
5.1	INTRODUCCIÓN.....	123
5.2	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN.....	124
5.2.1	Quemadores de gases.....	126
5.3	MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	133
5.3.1	Variaciones realizadas en el sistema.	134
5.4	INDICADORES ENERGÉTICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN	
	DE CALEFACCIÓN.....	135
5.5	CÁLCULO DE LOS RENDIMIENTOS DE LA INSTALACIÓN.....	138
5.6	ENSAYOS REALIZADOS.....	139
5.7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	143

5.7.1	Influencia de la temperatura de consigna en el rendimiento	144
5.7.2	Influencia del modo de funcionamiento en el rendimiento.....	145
5.7.3	Influencia la temperatura de consigna y el selector de modo de funcionamiento en el rendimiento	147
5.7.4	Influencia de las variables externas sobre el modo de funcionamiento del sistema.....	149
5.8	ANÁLISIS ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL	165
5.9	CONCLUSIONES.....	167
CAPÍTULO 6: FUNCIONAMIENTO EN MODO VERANO. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL EDIFICIO.....		169
6.1	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN.....	171
6.1.1	Instalación original.....	173
6.1.2	Instalación alternativa	174
6.1.3	Modos de funcionamiento de la instalación.	176
6.2	INDICADORES ENERGÉTICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN.....	179
6.2.1	Capacidad de enfriamiento y consumo de energía eléctrica.....	179
6.2.2	Coefficiente de eficiencia energética instantánea.	180
6.3	ENSAYOS REALIZADOS.....	181
6.3.1	Coefficiente de eficiencia energética estacional.....	186
6.4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	187
6.4.1	Análisis energético.	187
6.4.2	Análisis económico.....	191
6.4.3	Análisis medioambiental.	194
6.5	CONCLUSIONES.....	195
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES.....		199

7.1 INTRODUCCIÓN.....	201
7.2 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN.....	202
7.3 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN.....	202
7.4 CONCLUSIONES DEL FUNCIONAMIENTO GLOBAL A LO LARGO DE TODO UN AÑO.	203
BIBLIOGRAFÍA.....	205
PUBLICACIONES	209
CITAS.....	209
ANEXO I: RUTINAS VISUAL BASIC SISTEMA ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS.	213
10.1 Rutinas de VisualBasic para cambiar el nombre a los archivos csv	215
10.2 Recopilación de datos de los archivos csv.....	215
10.3 Rutinas para la extracción y graficado de datos	219
10.3.1 Extracción y graficado de datos: Consumo de gas.....	219
10.3.2 Extracción y graficado de datos: Producción de energía térmica.....	224
10.3.3 Extracción y graficado de datos: Consumo de agua.....	226
10.3.4 Extracción y graficado de datos: rendimientos del sistema de calefacción...	232
10.3.5 Extracción y graficado de datos: Temperatura de impulsión en las calderas.	241
10.3.6 Extracción y graficado de datos: Producción de energía eléctrica.....	243

Lista de Figuras

Figura 1.1 Consumo de energía final en España en 2015. Fuente MINETUR. [2].....	27
Figura 1.2 Consumo de energía final en España. Fuente MINETUR. [2].....	29
Figura 1.3.- Evolución de las intensidades energéticas final y primaria En España. Fuente MINETUR. [2].....	29
Figura 1.4.- Evolución de los consumos sectoriales en usos energéticos de energía final en España. Fuente MINETUR. [2].....	30
Figura 1.5.- Evolución de la generación de energética eléctrica total y con energías renovables. Fuente MINETUR. [2].....	30
Figura 2.1.- Distribución de calificación energética de nuevas viviendas en 2010. [3].....	39
Figura 2.2.- Principales indicadores del sector servicios. Fuente IDAE.[3].....	40
Figura 2.3.- Representatividad y estructura del consumo eléctrico del sector servicios en España y en la UE. Fuente IDAE.[3].....	40
Figura 2.4.- Esquema de funcionamiento del sistema de calefacción con colectores solares. aire como fluido portador. y almacenamiento mediante el uso de PCM. [14].....	44
Figura 2.5.- Esquema de principio de sistema híbrido de calefacción con geotermia.....	46
Figura 2.6.- Esquema de uso de pulverización de agua en el condensador de las máquinas enfriadoras condensadas por aire. [19].....	48
Figura 2.7.- Relación entre la entalpía de fusión de los PCM y la temperatura para diferentes grupos de materiales PCM. Fuente [34].....	52
Figura 2.8.- Uso del sistema Free cooling con materiales PCM.[35].....	53
Figura 2.9.- Esquema de funcionamiento de los materiales PCM integrados en la construcción, [35].....	53
Figura 2.10.- Tanque de almacenamiento en la instalación de refrigeración de la Universidad de Sevilla, [34].	54
Figura 2.11.- Persianas realizadas con materiales tipo PCM.[36].....	55
Figura 3.1.- Fotografía exterior del edificio. Fuente CCyL.....	62
Figura 3.2.- Esquema de principio de la instalación de calefacción. Siendo 1 y 2 las calderas. 3 las bombas de primario. 4 las bombas de impulsión a circuitos. 5 bombas radiadores.....	65
Figura 3.3.- Esquema de principio de la instalación refrigeración. Siendo 1 y 2 las enfriadoras condensadas por aire. 3 las bombas de primario. 4 las bombas de impulsión a circuitos. 5 la enfriadora condensada por agua. 6 las bombas de recirculación de secundario. y 7 el enfriador adiabático.	66
Figura 3.4.- Vista en planta de la instalación de la sala de calderas y bombas.	68
Figura 3.5.- Vista en planta de los elementos de la sala de calderas y bombas.	68
Figura 3.6.- Ejemplo de distribución en vertical de tuberías a través de un patinillo de instalaciones.	69
Figura 3.7.- Esquema de principio de un fancoil.....	70
Figura 3.8.- Esquema de principio de un climatizador.....	71
Figura 3.9.- Esquema de verticales de conductos de climatización correspondientes a las calderas y a los climatizadores 19 y 20.....	72
Figura 3.10.- Imagen de una bomba de rotor seco. Fuente: wilo.es	73
Figura 3.11.- Distribución en paralelo de bombas de impulsión.	73
Figura 3.12.- Tubería con coquilla de aislamiento. Fuente: isover.es.....	74
Figura 3.13.- Fotografía válvulas de corte. Fuente: valvulasarco.com. genebre.es	74
Figura 3.14.- Válvula de retención. Fuente: genebre.es	74
Figura 3.15.- Filtro en "Y". Fuente: genebre.es.....	75
Figura 3.16.- Manguito anti vibratorio. Fuente: genebre.es.....	75
Figura 3.17.- Válvula de equilibrado dinámico. Fuente: imi-hydronic.com	75
Figura 3.18.- Plano catastral del edificio. Fuente: catastro.meh.es	78
Figura 3.19.- Definición de fachadas en CE3	78
Figura 3.20.- Definición de cubiertas en CE3.....	79
Figura 3.21.- Definición de particiones interiores en CE3	79
Figura 3.22.- Definición de medianeras en CE3.....	80
Figura 3.23.- Definición de suelos en CE3.....	80
Figura 3.24.- Definición de huecos en CE3.....	81
Figura 3.25.- Definición geométrica de planta baja	81

Figura 3.26.- Definición geométrica de planta primera.....	82
Figura 3.27.- Definición geométrica de planta segunda.....	82
Figura 3.28.- Definición geométrica de plantas tercera y cuarta.....	83
Figura 3.29.- Definición de sombras del edificio.....	83
Figura 3.30.- Condiciones operacionales de cargas internas. ventilación mecánica y equipos de acondicionamiento.....	84
Figura 3.31.- Definición de horarios de funcionamiento.....	84
Figura 3.32.- Definición de Sistemas primarios.....	85
Figura 3.33.- Definición sistemas secundarios.....	85
Figura 3.34.- Definición de sistemas de iluminación.....	86
Figura 3.35.- Calificación energética global. Resultado CE3.....	89
Figura 4.1.- Imagen del sistema de gestión del edificio.....	93
Figura 4.2.- Precisión de los contadores de pulsos. Fuente: hit.sbt.siemens.com.....	96
Figura 4.3.- Precisión de los sensores de presión diferencial. Fuente: hit.sbt.siemens.com.....	97
Figura 4.4.- Precisión de los elementos sensibles de las sondas de temperatura de conductos. Fuente: hit.sbt.siemens.com.....	98
Figura 4.5.- Precisión de los elementos sensibles de las sondas de temperatura de ambiente. Fuente: hit.sbt.siemens.com.....	99
Figura 4.6.- Ejemplo de hoja de características técnicas de sonda de temperatura. Fuente: hit.sbt.siemens.com.....	99
Figura 4.7.- Pantalla del programa de control de la instalación. con la información instantánea de las condiciones de funcionamiento de la instalación de calefacción. Fuente: Desigo insight. Siemens.....	100
Figura 4.8.- Pantalla del programa de control de la instalación. con la información instantánea de las condiciones de funcionamiento de la instalación de refrigeración. Fuente: Desigo insight. Siemens.....	101
Figura 4.9.- Imagen de un controlador típico de fancoils. KNX. Fuente: hit.sbt.siemens.com.....	102
Figura 4.10.- Planta sótano: Ubicación de cuadros de control.....	103
Figura 4.11.- Planta baja: Ubicación de cuadros de control.....	104
Figura 4.12.- Planta primera: Ubicación de cuadros de control.....	104
Figura 4.13.- Planta segunda: Ubicación de cuadros de control.....	104
Figura 4.14.- Planta tercera: Ubicación de cuadros de control.....	105
Figura 4.15.- Planta cuarta: Ubicación de cuadros de control.....	105
Figura 4.16.- Esquema unifilar del cuadro.....	105
Figura 4.17.- Esquema salidas digitales.....	106
Figura 4.18.- Esquema entradas digitales.....	106
Figura 4.19.- Imagen de la página de control de un climatizador. Fuente: Desigo insight. Siemens.....	108
Figura 4.20.- Información sobre analizador de redes de un transformador. Fuente: Desigo insight. Siemens.....	109
Figura 4.21.- Vista del visualizador de tendencias del programa comercial. Fuente: Desigo insight. Siemens.....	110
Figura 4.22.- Imagen de la hoja de cálculo al juntar todos los datos.....	113
Figura 4.23.- Evolución del consumo de gas a lo largo de un día. Consumos en m ³ /5 minutos.....	114
Figura 4.24.- Consumo de gas en varios días de un mes.....	114
Figura 4.25.- Consumo de gas en varios días de varios meses.....	115
Figura 4.26.- Gráfico diario de consumo de gas en m ³	115
Figura 4.27.- Gráfico del consumo de gas en varios días de un mes.....	116
Figura 4.28.- Gráfico del consumo de gas en varios días de varios meses.....	116
Figura 4.29.- Gráfico diario de producción de kWh térmicos.....	117
Figura 4.30.- Producción de energía térmica en varios días de un mes.....	117
Figura 4.31.- Producción de energía térmica en varios días de varios meses.....	117
Figura 4.32.- Datos de consumo de agua diario durante dos días.....	118
Figura 4.33.- Gráficos de la evolución de la temperatura del agua en el circuito de calefacción.....	118
Figura 4.34.- Gráfico de la evolución del consumo de energía eléctrica en un día.....	119
Figura 4.35.- Evolución del consumo de energía eléctrica durante varios días.....	119
Figura 4.36.- Evolución del consumo de energía eléctrica durante varios días de varios meses.....	119
Figura 4.37.- Gráfico de rendimiento en un día de la instalación.....	120
Figura 4.38.- rendimiento en varios días de un mes.....	120
Figura 5.1.- Temperaturas diciembre 2015-febrero 2016 en Valladolid. Fuente [42].....	124

Figura 5.2.- Esquema de la instalación de calefacción.....	125
Figura 5.3.- Esquema de la cámara de mezcla de un quemador de mezcla previa. Fuente [43].....	127
Figura 5.4.- Croquis de inyector de gas. Fuente [43].....	128
Figura 5.5.- Croquis de quemador con pieza refractaria. Fuente [43].....	129
Figura 5.6.- Croquis de quemador de radiación infrarroja. Fuente [43].....	129
Figura 5.7.- Croquis de quemador de turbulencia radial. Fuente [43].....	130
Figura 5.8.- Croquis de quemador de flujo paralelo. Fuente [43]	130
Figura 5.9.- Croquis de quemador de corriente convergente de aire. Fuente [43]	131
Figura 5.10.- Croquis de un quemador modulante. Fuente [43]	131
Figura 5.11.- Valores de las emisiones de Nox y CO en quemadores de la marca Weishaupt. Fuente [44]	132
Figura 5.12.- Presión combustible vs Potencia Quemador. Fuente [44]	132
Figura 5.13.- Esquema de montaje de rampa de gas. Fuente [44].....	133
Figura 5.14.- - Fotografía quemador caldera instalada	133
Figura 5.15.- Curva de compensación de temperatura de consigna (SPTT) vs Temp. ext. (OT).....	135
Figura 5.16.- Evolución del consumo de gas durante un día	136
Figura 5.17.- Totalización del consumo de gas durante un día	136
Figura 5.18.- Evolución de la temperatura de salida en las calderas durante un día.....	136
Figura 5.19.- Rendimiento vs Temperatura media exterior.....	143
Figura 5.20.- Rendimiento vs Temperatura de consigna (SPT).....	145
Figura 5.21.- Rendimiento vs Modo de funcionamiento.....	147
Figura 5.22.- Rendimiento vs Temperatura de consigna con Modo de funcionamiento OM 0.....	149
Figura 5.23.- Rendimiento vs Temperatura de consigna con Modo de funcionamiento OM 1.....	149
Figura 5.24.- Rendimiento vs Temperatura media exterior (OT)	150
Figura 5.25.- Gráfico rendimiento vs humedad relativa media exterior (RH).....	150
Figura 5.26.- Rendimiento vs ED.....	151
Figura 5.27.- Demanda energética del edificio vs Temperatura media exterior.....	151
Figura 5.28.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 80°C y OM 0	153
Figura 5.29.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 80°C y OM 0	153
Figura 5.30.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 80°C y OM 0.....	154
Figura 5.31.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 80°C y OM 1	155
Figura 5.32.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 80°C y OM 1.....	155
Figura 5.33.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 80°C y OM 1	156
Figura 5.34.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 75°C y OM 0	157
Figura 5.35.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 75°C y OM 0	157
Figura 5.36.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 75°C y OM 0.....	158
Figura 5.37.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 75°C y OM 1	159
Figura 5.38.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 75°C y OM 1	159
Figura 5.39.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 75°C y OM 1	160
Figura 5.40.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 70°C y OM 0	161
Figura 5.41.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 70°C y OM 0	161
Figura 5.42.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 70°C y OM 0.....	162
Figura 5.43.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 70°C y OM 1	163
Figura 5.44.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 70°C y OM 1	163
Figura 5.45.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 70°C y OM 1.....	164
Figura 6.1.- Evolución del precio de la energía eléctrica (kWh) en cent. € durante los años 2009 a 2017 en el PI de la tarifa 6.1.....	171
Figura 6.2.- Representación esquemática del sistema inicial y el sistema de enfriamiento alternativo. siendo las máquinas 1 y 2. señaladas como AAC1 y AAC2. (Air Condensed Chillers). las máquinas condensadas por aire. y la señalada con WCC (Water Condensed Chiller). la condensada por agua.	175
Figura 6.3.- Diagrama esquemático del enfriador adiabático. en el que 1 en la entrada de aire exterior. 2 es el aire tras el proceso evaporativo. y 3 el aire expulsado al exterior.....	176
Figura 6.4.- Evolución característica del aire al ser enfriado a través del enfriador adiabático en un diagrama psicométrico para los dos modos operacionales en los que puede funcionar.....	178
Figura 6.5.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de los datos del verano de 2013.	187
Figura 6.6.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de la fecha para el verano de 2014.....	188
Figura 6.7.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de la temperatura exterior.	188
Figura 6.8.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de la humedad relativa exterior.....	189

Figura 6.9.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de la humedad absoluta exterior.	189
Figura 6.10.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de la energía de frío producida en 30 minutos por la enfriadora condensada por agua y por aire.	190
Figura 6.11.- Perfiles de generación eléctrica en España en años diferentes. Fuente [11].	195

Lista de Tablas

Tabla 1.1.- Consumo de energía final en España (kTep). fuente MINETUR.[2].....	27
Tabla 1.2.- Consumo de energía primaria (kTep). Fuente MINETUR. [2].....	28
Tabla 2.1.- Consumos energéticos año 2014 sector terciario.[4].....	37
Tabla 2.2.-Consumos energéticos año 2014 sector residencial. [4].....	38
Tabla 2.3.- Potencial de ahorro energético según sectores. Fuente Comisión Europea EU_25. Instituto Wuppertal. [9].....	38
Tabla 2.4.- rendimientos energéticos vs. Calificación energética. [3].....	39
Tabla 3.1.- Climatizadores, denominación y usos,.....	63
Tabla 3.2.- Horarios del sistema de climatización vs época climática.....	64
Tabla 3.3.- Consumos de gas vs época climática.	64
Tabla 3.4.- Configuración y partes de un climatizador.....	71
Tabla 3.5.- Características térmicas de la envolvente. Resultado CE3	87
Tabla 3.6.- Características de las instalaciones térmicas. Resultado CE3	87
Tabla 3.7.- Características de la instalación de iluminación. Resultado CE3	88
Tabla 3.8.- Condiciones de funcionamiento y ocupación. Resultado CE3	88
Tabla 3.9.- Calificación parcial del consumo de energía primaria. Resultado CE3	88
Tabla 3.10.- Indicadores parciales de emisiones. Resultado CE3	88
Tabla 3.11.- Valores totales del edificio anuales.	89
Tabla 4.1.- Resumen de instrumentación utilizada con sus datos técnicos más relevantes.....	95
Tabla 4.2.- Resumen de controladores para sistema eléctrico del edificio	102
Tabla 4.3.- Listado de algunas de las señales de los cuadros de control.	103
Tabla 4.4.- Ejemplo de archivo “csv” con las variables almacenadas.....	111
Tabla 5.1.- Zonas climáticas de la Península ibérica. Fuente [42].....	123
Tabla 5.2.- - Principales características de las máquinas generadoras de calor.	125
Tabla 5.3.- Producción de gases para diferentes combustibles en quemadores. [43].....	126
Tabla 5.4.- Significado cifras características quemadores. Fuente [43].....	127
Tabla 5.5.- Resultados experimentales.....	139
Tabla 5.6.- rendimiento vs Temperatura de consigna.....	144
Tabla 5.7.- rendimiento de las calderas promedio vs Temperatura de consigna.....	145
Tabla 5.8.- rendimiento vs Modo funcionamiento.....	146
Tabla 5.9.- Rendimiento vs Temperatura de consigna (SPT) y modo de funcionamiento (OM).....	147
Tabla 5.10.-Rendimiento vs OT vs RH vs ED con SPT 80°C and OM 0.....	152
Tabla 5.11.- Rendimiento vs Temp. media exterior OT. Hum. Rel. Exterior RH y ED con SPT 80°C OM 1	154
Tabla 5.12.-Rendimiento vs OT vs RH vs ED con SPT 75°C and OM 0.....	156
Tabla 5.13.-Rendimiento vs OT vs RH vs ED con SPT 75°C and OM 1	158
Tabla 5.14.-Rendimiento vs OT vs RH vs ED con SPT 70°C and OM 0.....	160
Tabla 5.15.-Rendimiento vs OT vs RH vs ED con SPT 70°C and OM 1	162
Tabla 5.16.- Resumen de consumos y factores económicos vs SPT y OM.....	165
Tabla 5.17.- Energía térmica. Producción de CO ₂ y árboles vs SPT y OM.....	166
Tabla 6.1.- Principales características de las máquinas refrigeradoras condensadas por aire (ACC). agua (WCC) y enfriador adiabático (DAC).	175
Tabla 6.2.- Temperatura ambiental media (T ₀), humedad relativa (HR ₀) y humedad absoluta (w ₀) energía de enfriamiento producida (Q _{evap}) y energía eléctrica consumida (W _{elec}), durante intervalos de 30 minutos y coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por agua durante los veranos de los años 2013 y 2014 (EERWCC.30)	181
Tabla 6.3.- Temperatura ambiental media (T ₀), humedad relativa (HR ₀) y humedad absoluta (w ₀), energía de enfriamiento producida (Q _{evap}) y energía eléctrica consumida (W _{elec}) durante intervalos de 30 minutos y coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por aire durante los veranos de los años 2013 y 2014 (EERACC.30)	184
Tabla 6.4.- Coeficiente de eficiencia energética estacional de la enfriadora condensada por agua y la enfriadora condensada por aire. EERWCC.30 y EERACC.30 durante los veranos de 2013 y 2014. tanto de manera individual, como de manera conjunta.....	186

Tabla 6.5.- Parámetros tipo económico utilizados para el estudio de la rentabilidad de ambas instalaciones: Condensada por agua (WCC) y condensada por aire (ACC).....	191
Tabla 6.6.- Desglose de costes en la instalación de la instalación de la enfriadora condensada por agua.....	192
Tabla 6.7.- Parámetros macro económicos utilizados en el análisis económico.....	193
Tabla 6.8.- Parámetros económicos de explotación obtenidos para la sustitución de la enfriadora condensada por aire por una nueva máquina condensada por agua.....	193
Tabla 6.9.- Parámetros económicos de explotación obtenidos al sustituir la máquina ACC por otra nueva del tipo WCC.....	193
Tabla 6.10.- Previsión de días de funcionamiento de la instalación de refrigeración.....	194
Tabla 6.11.- Energía consumida por la instalación de refrigeración anualmente.....	194
Tabla 6.12.- Toneladas de CO ₂ producidas anualmente para cada sistema WCC y ACC.....	195

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN. PANORAMA ENERGÉTICO. SITUACIÓN ACTUAL.

1.1.1 Panorama energético a nivel mundial

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) es una agencia autónoma fundada en 1974 y cuya misión es promover la seguridad energética, así como, realizar investigaciones y análisis para asegurar el suministro de manera fiable y asumible de energía limpia para sus 28 países miembros, entre ellos se encuentra España.

La IEA emite informes de manera periódica en los que indica cómo van evolucionando los parámetros de cambio climático. Para ello realiza estudios sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (Global Greenhouse Gas GHG) y los resultados no pueden ser más desalentadores. En la última referencia de la Agencia en agosto de 2016 [1], se indica que las emisiones relacionadas con la emisión de CO_2 son el porcentaje principal de todas las emisiones de gases de efecto invernadero. Además los compromisos de emisión realizados por los países en la (UNFCCC) (United Nations Framework Convention on Climate Change) no se están cumpliendo y están un 60% por encima de los objetivos marcados, los cuales pretendían limitar el incremento de temperatura global en la tierra a solo $2^{\circ}C$ en el año 2035.

La IEA señala que las emisiones de gases de efecto invernadero pueden disminuirse de dos maneras:

1.- Disminuyendo las emisiones de CO_2 en el origen de la cadena de producción de energía, por ejemplo, cambiando el uso de combustibles fósiles para la generación de energía y sustituyéndoles por energías renovables, o bien aumentando la captura de dicho gas y su almacenamiento.

2.- Disminuyendo la emisión en el consumo. como puede ser, incrementando el uso de la eficiencia energética.

Actualmente el 80% de la energía consumida en el mundo tiene como origen los combustibles fósiles. En el año 2014 se emitieron un total de 32.3 Giga toneladas de CO_2 . y fue el primer año en 40 años en el que no se redujeron las emisiones de gases de efecto invernadero frente al ciclo económico [1].

Existen toda una serie de factores como la necesidad de controlar el cambio climático, o las mejoras tecnológicas que están llevando a realizar fuertes inversiones en el campo energético.

De todas las inversiones que se realizan en el sector energético, hay que diferenciar dos campos bien claros, la sustitución o reparación de instalaciones obsoletas y las inversiones en eficiencia energética, siendo estas últimas las que llevan a un descenso de demanda.

Las inversiones en instalaciones energéticas se encuentran principalmente en el sector del gas y del petróleo, aunque en los últimos años se puede observar un incremento de las inversiones en el sector eléctrico, debido principalmente a las inversiones en energías renovables y aunque los combustibles fósiles continúan siendo los más consumidos, se empieza a ver una reorientación en los flujos de inversión hacia nuevos sistemas energéticos más eficientes.

Actualmente el petróleo sigue siendo el combustible productor de energía primaria más consumido, e incluso ha aumentado ligeramente su porcentaje en el mix energético mundial, aunque el porcentaje de inversiones destinadas a dicho combustible ha decaído debido principalmente al descenso de precios a nivel mundial que ha hecho que no sean tan rentables dichas inversiones.

También se ha notado un descenso en la demanda de carbón a nivel mundial, debido principalmente a que dos grandes productores y demandantes como son USA y China han frenado su consumo, aún así, el carbón continúa en la segunda posición del ranking de combustibles.

En cuanto a la energía nuclear, el año 2015 fue el de más altas inversiones durante dos décadas, debido principalmente a la expansión que ha tenido esta tecnología en China, donde la nueva capacidad de producción eléctrica de origen nuclear está reduciendo el uso de carbón en la generación, hecho que no ocurre en Europa y USA, donde los bajos precios del petróleo y del carbón así como la mala imagen de esta tecnología está llevando a interrumpir o no desarrollar nuevos proyectos de energía nuclear, o en algunos casos a extender la vida útil de las instalaciones existentes más allá de su ciclo de vida económicamente viable.

En cuanto a las energías renovables, se puede ver una rápida expansión, pero de manera asimétrica, de hecho, la energía eólica, solar e hidráulica están rediseñando el panorama de producción eléctrica. La inversión en dichas energías se ha mantenido aproximadamente constante desde 2011, pero debido al descenso de los costes tecnológicos, se puede apreciar una expansión en la instalación de dichas energías.

La carrera tecnológica. y la economía de escala están llevando a un notable descenso en el coste de las inversiones fotovoltaicas, almacenamiento de electricidad, energía nuclear, captura de carbono, renovación y mejora de eficiencia en edificios.

El crecimiento en la producción basada en energías renovables descentralizadas no elimina, sino que más bien al contrario, aumenta la necesidad de incrementar la inversión en las redes de transporte para asegurar una correcta integración de la producción en el sistema energético de cada país. Si bien, las inversiones en otras tecnologías energéticas como biodiesel y calor renovable, son significativamente inferiores.

En términos medios mundiales la tasa de producción de CO₂ por cada MWh producido ha ido descendiendo, llegando en el año 2015 a ser de 420 kg, lo cual ha llevado a un estancamiento en la producción de gases de efecto invernadero, aunque se puede observar que es insuficiente para mantener el incremento de la temperatura del planeta por debajo de 2°C, lo cual lleva a pensar que hace falta una política más agresiva en este campo [1].

1.1.2 Situación energética en España. Situación actual y evolución.

El consumo de energía final ascendió en España a 87 739 kTep en 2015, un 0.7% superior a la de 2014, debido principalmente a la situación económica y a la estructura de sectores consumidores, ya que las condiciones climáticas y laborales han sido similares en el año precedente.

En relación con los combustibles, se produjo una disminución de un 2.9% en el consumo final de gas, el consumo de productos petrolíferos aumentó un 1.5% respecto al 2014 y respecto a las energías renovables se incrementa en un 3.8%.

Tabla 1.1.- Consumo de energía final en España (kTep). Fuente MINETUR.[2]

	2014	2015	Tasa de variación %
Carbón	1.143	1.160	1,5
Gases Derivados del Carbón	224	239	6,7
P.Petrolíferos	42.264	42.879	1,5
Gas	14.778	14.344	-2,9
Electricidad	19.513	19.999	2,5
Energías renovables	5.109	5.302	3,8
Total usos energéticos	83.031	83.923	1,1
Usos no energéticos:			
Carbón	0	43	
Prod. Petrolíferos	3.622	3.368	-7,0
Gas natural	485	448	-7,6
Total usos finales	87.138	87.739	0,7

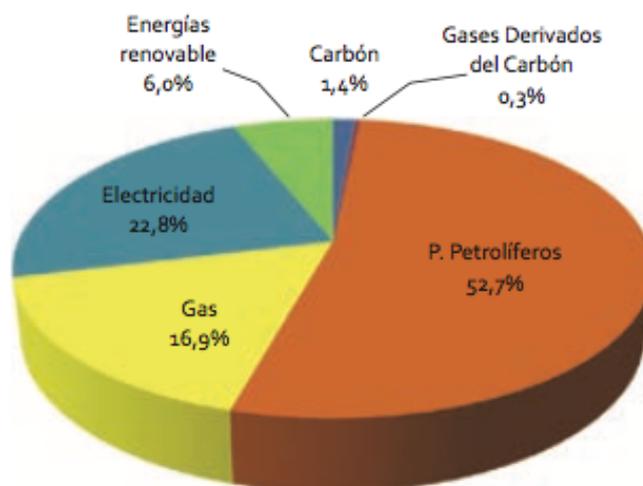


Figura 1.1 Consumo de energía final en España en 2015. Fuente MINETUR. [2]

Respecto a la estructura del consumo de energía final en España durante el año 2015, fue por este orden y tal y como puede verse en la Figura 1.1 del 52.7% en productos

petrolíferos, del 22.86% de electricidad, del 16.9% de gas y únicamente del 6% en energías renovables.

Tabla 1.2.- Consumo de energía primaria (kTep). Fuente MINETUR. [2]

	2014	2015	Tasa de variación %
Carbón	11.639	14.426	23,9
Petróleo	50.447	52.434	3,9
Gas natural	23.662	24.590	3,9
Nuclear	14.934	14.927	-0,0
Hidráulica	3.369	2.397	-28,9
Eólica, Solar y Geotérmica	7.599	7.476	-1,6
Biomasa, biocarb. y resid. renovables	6.828	7.371	8,0
Residuos no renovables	204	260	27,5
Saldo imp-exp electricidad	-293	-13	-95,6
TOTAL	118.389	123.868	4,6

El consumo de energía primaria en España durante el último año del cual se tienen datos (2015), fue de 123 868 kTep con un aumento del 4.6% respecto al año 2014. De estos datos se puede destacar lo siguiente:

- Un incremento en el consumo de carbón respecto al año anterior del 23.9% debido a la mayor generación eléctrica con este combustible.

- Los consumos de petróleo y de gas natural fueron de 52 434 kTep y 24 590 kTep respectivamente. con un aumento del 3.9% respecto al del año anterior, algo superior al aumento de los consumos finales de productos petrolíferos.

Desde 2008, la tendencia decreciente de los consumos energéticos llevó a que, en 2013 los niveles de consumo de energía final y de energía primaria, estuvieran por debajo de los del año 2000. Como se observa en la Figura 1.2, la evolución de ambas magnitudes fue relativamente paralela, con ligeras variaciones en la energía primaria, dependiendo de la disponibilidad de energías renovables en cada año, en particular, de la hidroeléctrica.

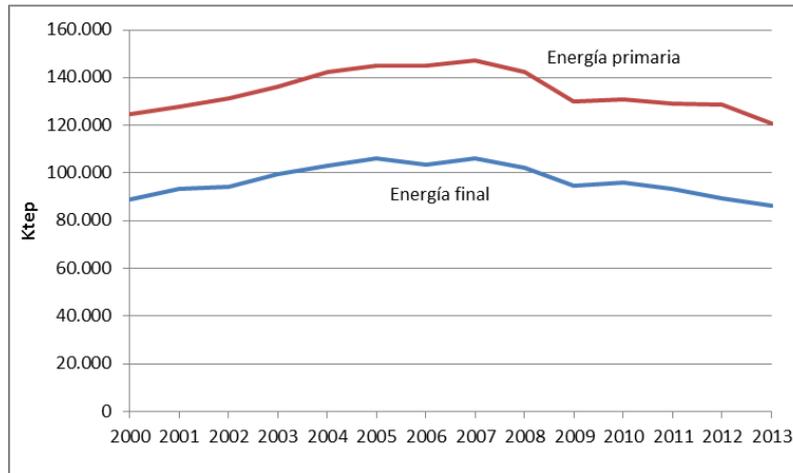


Figura 1.2 Consumo de energía final en España. Fuente MINETUR. [2]

La intensidad energética final -consumo de energía final por unidad de PIB- mantuvo una tendencia de crecimiento desde 1990 hasta 2004. En cambio, desde este último año 2004 hasta 2013, ha bajado un 2.6% anual, situándose en ratios inferiores a los de 1990. Como se observa en la Figura 1.3., la evolución de la intensidad primaria ha sido similar, con ligeras variaciones debidas a las causas citadas.

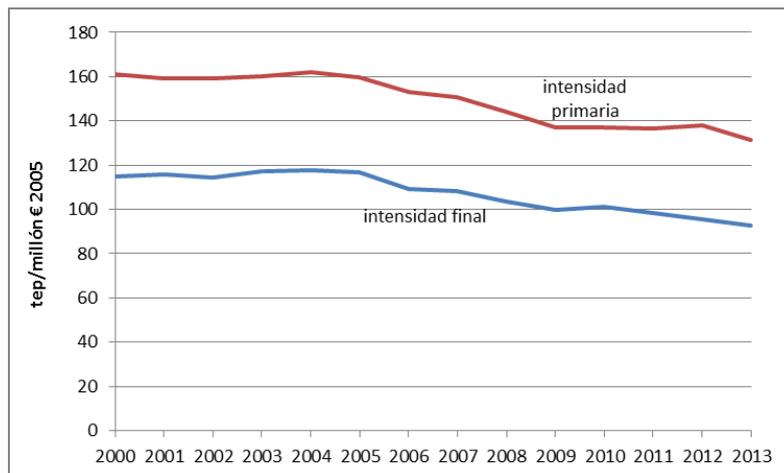


Figura 1.3.- Evolución de las intensidades energéticas final y primaria en España. Fuente MINETUR. [2]

El desglose del consumo final energético por sectores, Figura 1.4. indica que el descenso de éste se debió, fundamentalmente, a la menor actividad de la industria y del transporte, siendo el descenso de este último debido en parte al del consumo, dado que el Índice de Producción Industrial bajó un 20% desde 2007 y en consecuencia, bajó el transporte de mercancías por carretera, que es el modo predominante en España.

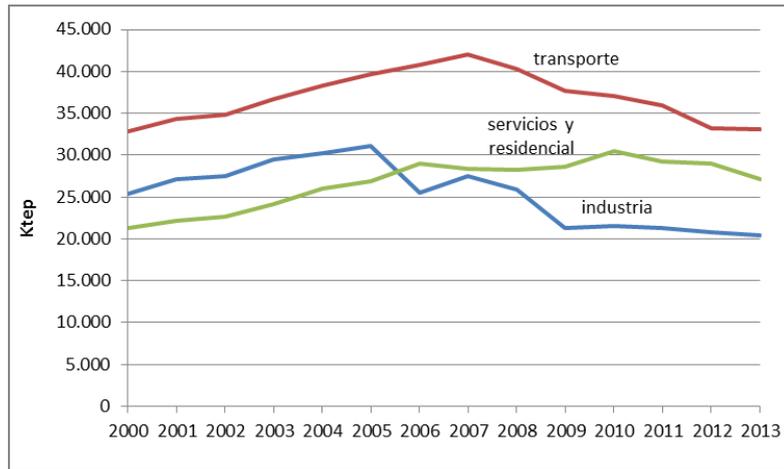


Figura 1.4.- Evolución de los consumos sectoriales en usos energéticos de energía final en España. Fuente MINETUR. [2]

Respecto a las causas del descenso del consumo de energía primaria, a las descritas de la energía final, se suma el muy relevante cambio de estructura de generación eléctrica, con el aumento del uso de energías renovables y el descenso del de fósiles. Precisamente en el período de crisis, desde 2008, la caída de la generación eléctrica total ha venido acompañada de un aumento del peso de la generación con energías renovables, pasando de un 19.8% al 38.3%. como se indica en la Figura 1.5 . El efecto de este cambio de estructura sobre la energía primaria equivalente es notable de acuerdo con la metodología AIE-Eurostat, que se emplea en los balances energéticos con este escenario, dado que es menor la energía primaria necesaria para una generación dada si se emplean energías renovables, frente al empleo de energías fósiles con tecnologías convencionales.

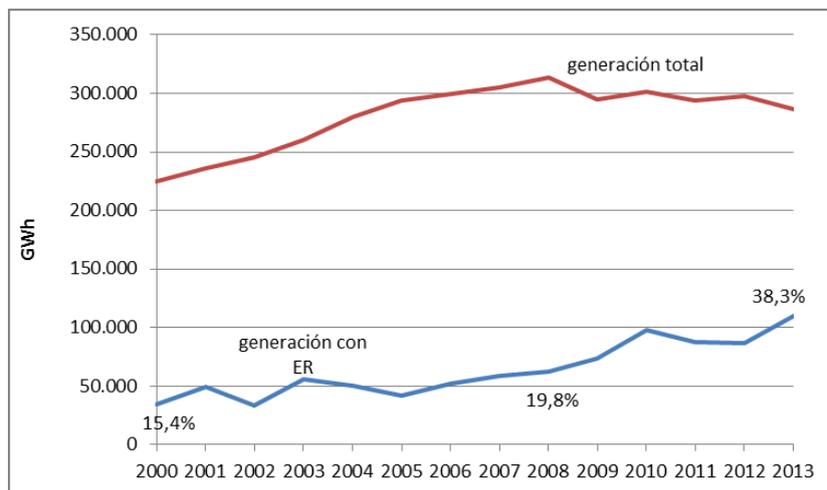


Figura 1.5.- Evolución de la generación de energética eléctrica total y con energías renovables. Fuente MINETUR. [2]

Fundamentalmente debido a esta evolución en la generación eléctrica, el ratio de consumo de energías renovables sobre energía final bruta, considerando la aportación de los biocarburantes, ha tenido una evolución fuertemente creciente, que en 2014 ha alcanzado el 17%, valor cercano al objetivo del 20% fijado para 2020.

1.2 OBJETIVOS.

El trabajo realizado en esta Tesis Doctoral tiene como objetivo general realizar un diagnóstico del funcionamiento de las instalaciones de calefacción y refrigeración de un edificio administrativo público con el fin de mejorar el rendimiento del mismo y formular recomendaciones sobre el funcionamiento óptimo de dichas instalaciones con el fin de conseguir la mayor eficiencia energética posible.

Los objetivos específicos que se persiguen son los que se enumeran a continuación:

- Definir una metodología, partiendo del sistema de control de las instalaciones, que permita sistematizar las mediciones realizadas y seleccionar los datos adecuados para el análisis energético de la instalación.
- Analizar el funcionamiento del sistema de calefacción del edificio utilizando los datos diarios seleccionados durante un periodo de invierno y comparando la influencia de diferentes alternativas de funcionamiento de la instalación y las condiciones externas en el rendimiento de la misma.
- Analizar el funcionamiento del sistema de refrigeración del edificio a partir de los datos diarios recogidos durante dos periodos de verano, la influencia de diferentes modos de funcionamiento o de las condiciones externas en el rendimiento energético de la instalación.
- Evaluar las implicaciones de una mayor eficiencia energética tanto en el ahorro económico como en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Con todo ello, se pretende que la metodología y los resultados obtenidos puedan aplicarse a otros edificios, principalmente en el sector terciario, con el fin de contribuir a una mayor eficiencia energética.

1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La estructura de esta tesis consta de siete capítulos que describen el análisis realizado, los resultados y sus consecuencias. A continuación se hace una breve reseña de cada uno de los capítulos con el objetivo de poner al lector en contexto y permitirle hacer un esquema general del estudio desarrollado.

En el capítulo 1 se presenta una introducción sobre el panorama energético a nivel mundial, europeo y nacional, con el objetivo de tomar perspectiva del gran problema que presenta el consumo energético en general y en particular en los edificios del sector terciario.

El capítulo 2 presenta una descripción del estado del arte actual, como están evolucionando las tecnologías de climatización, tanto de refrigeración como de calefacción, así como diferentes alternativas que se estudian al objeto de reducir el consumo energético.

El capítulo 3 presenta una descripción de los sistemas de climatización utilizados en el edificio objeto de estudio, tanto en la producción de energía, como en la distribución de la misma. También se presenta la simulación energética realizada con el programa de calificación energética CE3 y que se utiliza para cuantificar que grado de emisiones y eficiencia presenta el edificio.

El capítulo 4 describe como es el sistema de gestión del edificio actualmente instalado y que ha servido como base para desarrollar el sistema de adquisición de datos con el que se ha desarrollado el estudio. Se describe también como es tanto el hardware, como el software, tanto el comercial como el desarrollado, describiendo las funciones que realiza.

En el capítulo 5 se analizan los datos del sistema de calefacción adquiridos durante la época de invierno, que es cuando dicho sistema se pone en marcha. Se estudia el comportamiento del sistema en base a diferentes configuraciones internas. y factores externos, para obtener el rendimiento de la instalación que nos da idea de lo bien que se comporta una instalación y se acerca al modelo ideal. Se realizan análisis técnicos, económicos y medioambientales.

En el capítulo 6 se analizan los datos del sistema de refrigeración condensado por aire adquiridos durante el verano para las enfriadoras instaladas originalmente durante la construcción del edificio y se comparan con los datos proporcionados por la instalación de refrigeración condensada por agua con un enfriador adiabático que se instaló con posterioridad. Se realiza un análisis técnico, económico y medioambiental.

En el capítulo 7 se resumen las conclusiones obtenidas tras el análisis de la instalación de calefacción, de la instalación de refrigeración y se hace una proyección para ver que suponen dichas conclusiones en caso de llevarse a cabo e implantarse durante un año en el edificio, a nivel económico y medioambiental. Se presentan los posibles trabajos futuros que pueden resultar como consecuencia del mismo.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1 CLIMATIZACIÓN EN EDIFICIOS DE USO TERCIARIO

Actualmente el consumo de energía en los edificios representa un porcentaje muy elevado respecto al total de energía consumida, en concreto en el año 2014, el consumo en el sector terciario en España fue de 8 848 kTep y del sector residencial 14 692 kTep, que hacen un total de 23 540 kTep y que frente a los 123 868 kTep de consumo total, representan un total de cerca del 20% del consumo energético nacional y entre el 25% y 29% a nivel de la UE27 [3].

En el ámbito nacional, diversos factores, como el incremento de los hogares, los hábitos de consumo, el equipamiento progresivo de los hogares, propiciado por los incrementos de la capacidad de poder adquisitivo y una mejora del nivel de vida hacen prever unas tendencias futuras al alza en cuanto a la representatividad del sector residencial en la demanda energética.

Esto último encuentra apoyo en diversos estudios que en la actualidad tienen lugar con el objeto de facilitar el diseño y configuración de acuerdo con políticas de planificación energética con los que prever la cobertura futura a dicha demanda. Por otra parte, el sector terciario, si bien, en términos comparativos respecto a otros sectores en España, actualmente presenta menos consumo, es cierto que, en términos relativos, es uno de los sectores, junto al sector servicios, que en los últimos años mayor crecimiento ha registrado tanto en su consumo como en intensidad energética asociada. Es por ello, que cualquier medida de ahorro energético llevada a cabo en el sector contribuye de manera muy significativa al descenso del consumo a nivel nacional.

Tabla 2.1.- Consumos energéticos año 2014 sector terciario.[4]

Rama	Carbones	Productos Petrolíferos	Gases ⁽¹⁾	Energía Eléctrica	Renovables					Total Renovables	TOTAL ⁽³⁾
					Solar Térmica	Geotermia	Biomasa ⁽²⁾	Biogas ⁽²⁾	Biocarburantes ⁽⁴⁾		
<i>Unidad de medida: ktep</i>											
Oficinas	0	411	310	2,048	12	0.26				39.5	2,809
Hospitales	0	109	141	353	4	0.28				5.5	608
Comercio	0	307	687	2,066	1	0.04				3.8	3,064
Restaurantes y Alojamientos	0	93	76	510	15	0.44				18.8	698
Educación	0	178	95	320	5	0.29				5.5	599
Otros Servicios	0	108	141	750	15	2.43				67.49	1,067
CONSUMO TOTAL SERVICIOS	0	1,208	1,450	6,047	51	4	74	11	2	143	8,848
Δ 14/13	--	-18.9%	-3.1%	-7.0%	15.0%	17.2%	2.2%	27.5%	-0.9%	8.5%	-8.0%

Tabla 2.2.-Consumos energéticos año 2014 sector residencial. [4]

INFORME ANUAL DE CONSUMOS ENERGÉTICOS. UNIDADES COMERCIALES. AÑO 2014												
Consumo de Energía Final: Sector Residencial/Hogares.												
Tipo de Uso	Carbón	Productos Petrolíferos			Gases ⁽¹⁾	Renovables				Energía Eléctrica	TOTAL	
		GLP	Combustibles Líquidos ⁽²⁾	TOTAL Productos Petrolíferos		Biomasa	Solar	Geotermia	Biocarburantes			TOTAL Renovables
Unidad de medida: ktep												
Calefacción	75	401	1,476	1,876	1,433	2,459	15	5,36	--	2,479	448	6,311
ACS	6	474	133	607	1,324	52	188,3	3,03	--	243	454	2,634
Cocina	11	191	--	191	337	27	--	--	--	27	565	1,131
Iluminación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	714	714
Aire Acondicionado	--	--	--	--	--	--	--	2,26	--	2	142	144
Electrodomésticos	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3,758	3,758
Otros Usos	--	--	--	--	--	--	--	--	0,88	1	--	1
CONSUMO TOTAL DE LOS HOGARES ⁽¹⁾	92	1,066	1,608	2,674	3,094	2,537	203	10,65	0,88	2,752,20	6,081	14,692
CONSUMO TOTAL RESIDENCIAL ⁽⁶⁾	92	1,066	1,629	2,695	3,094	2,537	203	10,65	10,65	10,65	6,081	14,713
Δ 2014/2013	-3.1%	-6.6%	0.3%	-2.5%	-3.1%	0.6%	6.7%	1.8%	1.8%	-99.6%	-0.5%	-1.2%

De hecho, la Comisión Europea tiene entre sus objetivos el promover el ahorro energético en el sector residencial y terciario, (objetivo 20-20-20) [5], que son los que mayor perspectiva de ahorro energético presentan, [6], [7], ya que casi el 40% del consumo de energía final y el 36% de los gases de efecto invernadero tienen su origen en la climatización de viviendas, oficinas, y edificios del sector terciario, [8].

Tabla 2.3.- Potencial de ahorro energético según sectores. Fuente Comisión Europea EU_25. Instituto Wuppertal. [9]

Sector	Energy consumption (Mtoe) 2005 (EE escenario)	Energy consumption (Mtoe) 2020 (BAU escenario)	Energy Saving Potential 2020 (%)
Households (Residential)	280	338	27%
Commercial buildings (Tertiary)	157	211	30%
Transport	332	405	26%
Manufacturing Industry	297	382	25%

La Tabla 2.3 da información sobre dos modelos de predicción (EE Scenarío y el BAU Scenarío) que hace el Instituto Wuppertal ubicado en Alemania y dedicado al estudio del clima y del ahorro energético.

2.1.1 Calificación energética de edificios:

El Código Técnico de la Edificación (CTE) [10], ha llevado a considerar las edificaciones en categorías energéticas en base a la energía que deben consumir para conseguir un determinado nivel de confort.

En la Figura 2.1 se representa la distribución de la calificación energética de las viviendas en el año 2010, donde se puede observar que el mayor número de viviendas se encuentran en la última calificación energética “E” y el porcentaje de viviendas con calificación superior “A” es realmente escaso, un 4%.

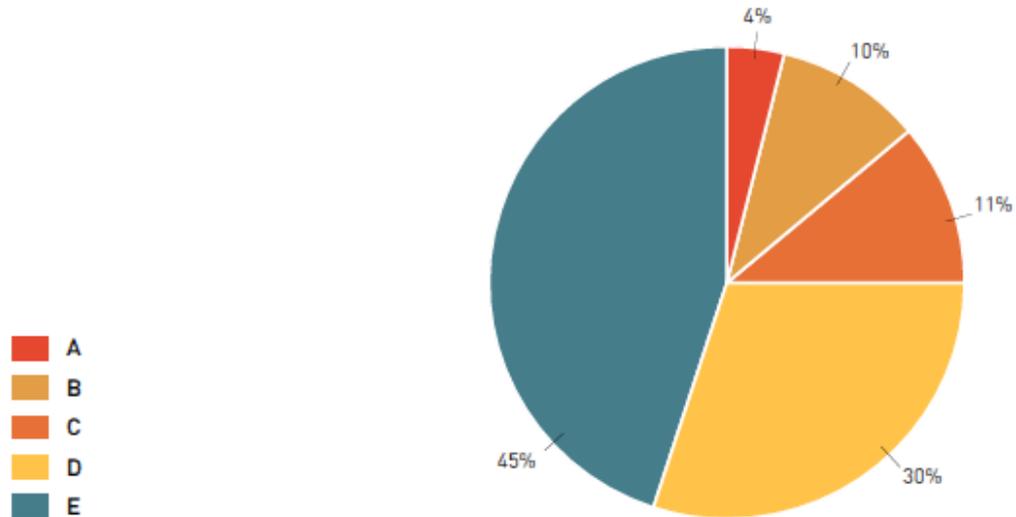


Figura 2.1.- Distribución de calificación energética de nuevas viviendas en 2010. [3]

En la Tabla 2.4 se presentan los valores de los rendimientos de los sistemas de calefacción (calderas), y de los sistemas de aire acondicionado convencionales en función de la calificación energética.

Tabla 2.4.- Rendimientos energéticos vs. Calificación energética. [3]

	Calificación E	Calificación D	Calificación C	Calificación B	Calificación A
Rendimiento estacional de calderas tradicionales	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Rendimiento estacional de calderas eficientes	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
Rendimiento estacional de AACC tradicionales	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Rendimiento estacional de AACC eficiente	1,80	2,00	2,30	2,50	3,00

Como se puede ver en los resultados, existe un importante nicho de ahorro energético en la eficiencia energética de las máquinas térmicas productoras de energía. Este es el objetivo hacia donde se encamina el presente estudio. Para ello, se estudia un sistema muy eficiente de climatización y con riesgo bajo de Legionela, así como el estudio de los diferentes métodos operativos de un sistema de calefacción convencional para conseguir los rendimientos más elevados posibles.

Centrándonos en el sector servicios, en la Figura 2.2 se puede ver la evolución de los principales indicadores (Valor Añadido Bruto VAB), el consumo energético y la intensidad final, tomando el valor de 100 en el año origen del estudio (año 2000), el consumo energético se ha incrementado de manera sustancial, al igual que el VAB, mientras que la intensidad final no ha sufrido incrementos sustanciales.

Dónde:

El Consumo energético da idea de la cantidad de energía consumida en un país tomando como referencia kTep.

El VAB es la macro magnitud económica que mide el valor añadido generado por el conjunto de productores de un área económica, recogiendo en definitiva los valores que se agregan a los bienes y servicios en las distintas etapas del proceso productivo, la intensidad energética final es un indicador de la eficiencia energética de una economía. Se calcula como la relación entre el consumo energético (E) y el producto interior bruto (PIB) de un país, por lo que interesa que esta magnitud sea lo más pequeña posible, dando así idea de lo eficiente en el consumo de energía que es un país.

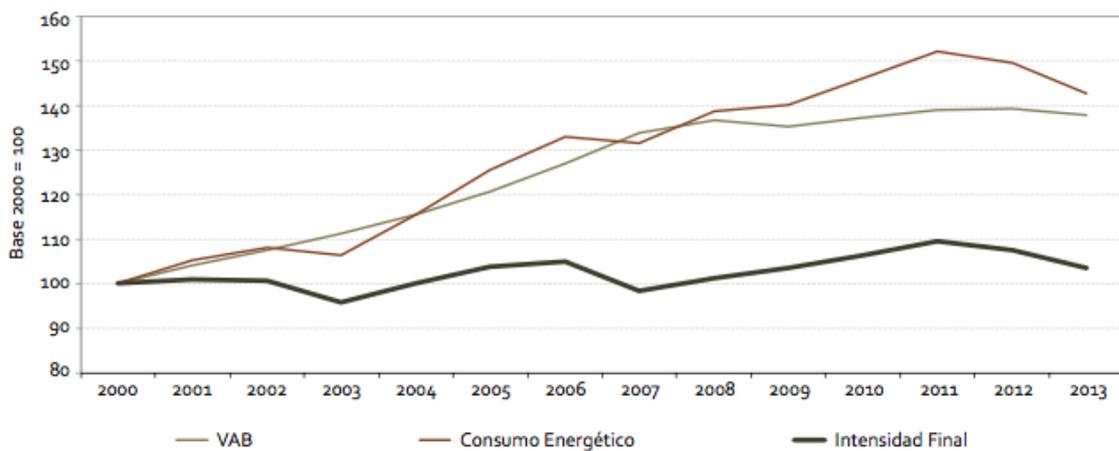


Figura 2.2.- Principales indicadores del sector servicios. Fuente IDAE,[3]

En la Figura 2.3 se puede ver que el consumo energético en España se ha mantenido superior a la media de los países de la Unión Europea, en concreto en el año 2012 el consumo energético en España era del 68.7%, frente al 47.1% de la Unión Europea.

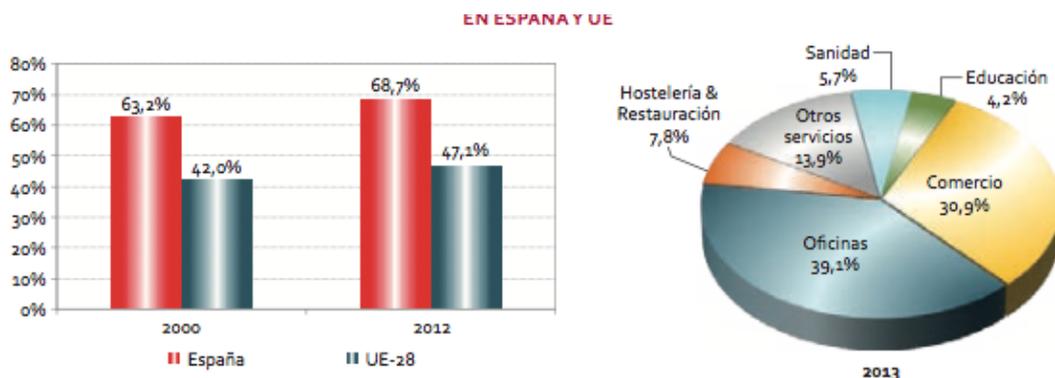


Figura 2.3.- Representatividad y estructura del consumo eléctrico del sector servicios en España y en la UE. Fuente IDAE.[3]

La razón del elevado consumo eléctrico en España se encuentra ligada a la tipología de usos energéticos, así como a la composición sectorial del sector servicios. En concreto. las necesidades energéticas ligadas a iluminación, climatización, equipamiento ofimático, tecnologías de información y comunicación (TIC), etc. de los sectores

oficinas y comercio explican en gran medida la demanda eléctrica asociada a este sector.

En contraste, el menor consumo eléctrico en los países del centro y norte de Europa se debe en parte a la mayor la cobertura de sus demandas energéticas mediante centrales de cogeneración y “district heating”.

2.1.2 Ahorro y eficiencia energética.

Son distintas las actuaciones emprendidas con el fin de paliar la intensidad de este sector, gran parte de las mismas integradas dentro de los distintos Planes de acción de Ahorro y Eficiencia Energética. Así, en el ámbito de los edificios del sector público son varias las iniciativas adoptadas a lo largo de los últimos años, destacando el anterior Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética en los Edificios de la Administración General del Estado (PAEE-AGE) [3], en el marco del cual se realizaron diagnósticos energéticos sobre un total de 3 793 edificios públicos a fin de identificar su potencial de ahorro energético. Según estos diagnósticos se determinó un potencial de ahorro del 16% de la energía consumida por los edificios propiedad de la Administración.

En línea con lo último, en el marco del último Plan de Acción 2014-2020 [11] y en conformidad con lo dispuesto en el artículo 5 de la Directiva 2012/27/UE [12] relativa a la eficiencia energética se contemplan numerosas actuaciones dirigidas a la mejora de la eficiencia del conjunto de los edificios públicos de España.

De acuerdo a dicho artículo, en 2014 se inventarían 1746 edificios pertenecientes a organismos ministeriales dotados de sistemas de calefacción y/o refrigeración, con una superficie útil superior a $500 m^2$, sumando en total una superficie auditada próxima a 11 millones de m^2 . Sobre la base de este inventario se deberá renovar anualmente el 3% de la superficie a fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos de rendimiento energético mínimo establecidos en el artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE [12].

Asimismo, en lo que se refiere a los servicios públicos, son distintas las medidas emprendidas con el fin de mejorar su eficiencia energética. En concreto, con relación al alumbrado exterior, se ha estimado el tamaño del parque nacional de luminarias de los municipios españoles en 8 millones. Según esto, se estima un considerable potencial de ahorro eléctrico ligado a la renovación de estas por otras más eficientes, que oscila entre el 60% y el 80%. Ello hace que este tipo de medidas estén recibiendo un impulso creciente.

La aprobación de la Ley 15/2014, de 16 de septiembre [13], de racionalización del Sector Público supone un estímulo adicional a la eficiencia energética en este sector, al introducir una serie de requisitos de eficiencia energética para la adquisición de bienes, servicios y edificios por las Administraciones Públicas.

Todo este tipo de actuaciones se espera que a medio y largo plazo contribuyan a moderar la evolución de las intensidades global y eléctrica del sector servicios.

El artículo 7 de la Directiva anteriormente citada [12], obliga a alcanzar en cada Estado miembro un objetivo vinculante de ahorro de energía final acumulado para el periodo 2014- 2020. Según esto, España ha fijado un objetivo de ahorro de 15 979 kTep, entre

2014 y 2020, equivalente a un objetivo de ahorro anual de 571 kTep supuesta una distribución lineal durante todo el periodo de compromiso. La consecución de dicho objetivo de ahorro requiere inversiones de naturaleza pública y privada de elevada magnitud en actuaciones, principalmente, de renovación de equipos y procesos en el sector industrial, de renovación de instalaciones de calefacción, climatización e iluminación en el sector de la edificación (residencial o de uso terciario) o de renovación de la envolvente en los edificios, así como en medidas de uso más eficiente de los medios de transporte.

El 15.3% del objetivo del ahorro total (571 kTep/año) está previsto que se consiga mediante medidas en el sector de Edificación y Equipamiento. Estos ahorros provendrían de la rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes, de la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, iluminación, ascensores y otros sistemas de transporte y las instalaciones eléctricas. También de la rehabilitación de edificios existentes con alta calificación energética. Además se incluyen medidas para mejorar la eficiencia de las instalaciones de frío comercial e industrial y de los centros de proceso de datos.

Por último la implantación de sistemas inteligentes y la renovación del parque de electrodomésticos. En este reparto solo están computados los ahorros en el sector edificación y equipamiento, promovidos por el sistema de obligaciones de eficiencia energética.

Por otra parte, igualmente en el sector de la edificación, de conformidad con el artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE [12], se introduce un objetivo de renovación energética del 3% de la superficie de los edificios de la Administración General del Estado (AGE). Para ello se ha realizado un inventario de edificios pertenecientes a la AGE, equivalente a 1763 edificios de superficie superior a 11.2 millones de m², además del desarrollo de una Plataforma Informática de Gestión Energética y Patrimonial (PIGEP).

2.2 ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS.

Actualmente existen múltiples y variadas metodologías de climatizar un edificio. desde las más clásicas como pueden ser mediante enfriadoras condensadas por aire o agua. a las más novedosas como por techo radiante frío, máquinas de absorción que aprovechan la energía del sol para funcionar, materiales de cambio de fase (PCM Phase Change Materials), geotermia. etc.

Salvo contadas ocasiones las Direcciones Facultativas y propiedades de edificios y más aún cuando se trata de edificios institucionales, suelen decantarse por la prescripción de sistemas de climatización de probada y contrastada eficacia, habida cuenta que suele darse el hecho que dichos sistemas son los más baratos ya que tienen mayor producción en su fabricación.

De modo que en la actualidad en España, el método de producción de agua fría para enfriar los edificios suele producirse en un muy amplio porcentaje, mediante enfriadoras condensadas por agua y condensadas por aire. Dándose además el caso que, desde que

hasta los años 90, la mayor parte de las instalaciones se realizaban mediante condensación por agua, pero debido a los problemas ocasionados por infecciones de Legionela, a partir de mediados de esa década, comienza la instalación de máquinas productoras de agua fría de refrigeración condensadas por aire. Hecho a todas luces incongruente con el objetivo de conseguir una reducción efectiva de emisiones y de consumo de energía eléctrica, habida cuenta de que dichas máquinas cuentan con un rendimiento muy inferior a las condensadas por agua.

A continuación, se va a hacer una breve descripción de los diferentes tipos de tecnologías usadas actualmente para producir refrigeración en los edificios, yendo desde la tecnología más novedosa, hasta las más clásicas, aunque no por ello menos eficientes.

2.2.1 Calefacción: Estudios y tecnología de calefacción.

Según el combustible empleado se puede hacer una gran diferenciación, por una parte Los sistemas que utilizan combustibles fósiles, y los sistemas que utilizan energías renovables.

Hasta el momento, la práctica totalidad de sistemas de calefacción utilizaban combustibles fósiles, si bien en los últimos años, se ha comenzado a implantar cada vez de una manera más acusada, la calefacción utilizando energías renovables, fundamentalmente como elemento secundario y complementario del principal.

En este punto se van a comentar las técnicas más modernas utilizadas como métodos de calefacción recogidas en diferentes artículos.

- J. F. Belmonte. M. A. et al.[14], presentan un estudio de un Sistema de calefacción basado en colectores solares con aire como fluido portador y con almacén de PCM.

El esquema de funcionamiento se puede ver en la Figura 2.4. Este sistema presenta significativas ventajas al utilizar aire como fluido calo portador, como eliminar la posibilidad de congelación o de sobre calentamiento del fluido, las pérdidas del mismo, o la corrosión asociada. No precisa de intercambiadores de calor, y puede funcionar con una pequeña cantidad de radiación solar.

El aire caliente atraviesa un lecho fluidizado compuesto por partículas de materiales de cambio de fase (PCM) que almacenan la energía térmica que suministra el sistema de captación solar y que se almacena hasta que se utiliza para la calefacción del habitáculo.

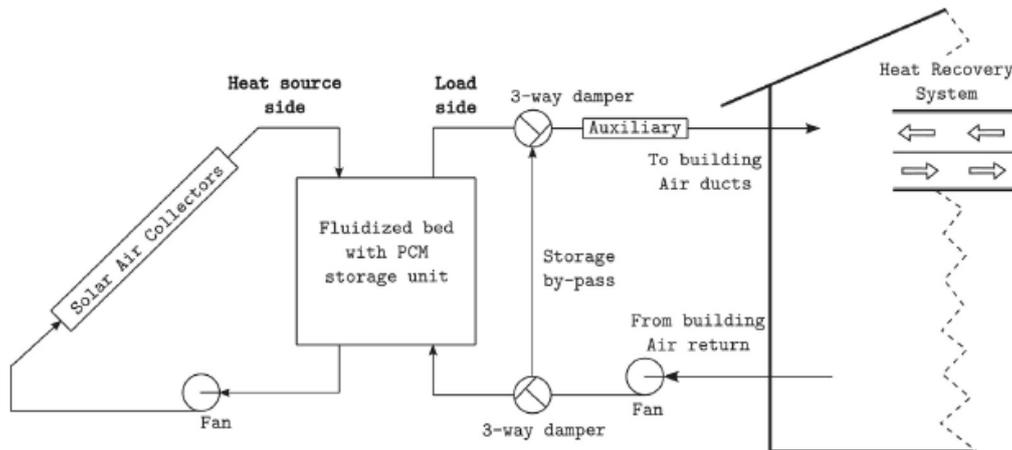


Figura 2.4.- Esquema de funcionamiento del sistema de calefacción con colectores solares, aire como fluido portador, y almacenamiento mediante el uso de PCM. [14]

Las principales ventajas de este tipo de sistema son:

- 1.- Permite calentar el habitáculo aún con baja radiación solar disponible, se puede mantener la temperatura de la sala aun cuando las temperaturas exteriores máximas no superan los 10°C y las mínimas se sitúan por debajo de 0°C.
- 2.- Al no utilizar agua como fluido calo portador, no se requieren intercambiadores de calor, por lo que aumenta el rendimiento del sistema.
- 3.- Las elevadas tasas de transferencia de calor del sistema de lecho fluidizado con materiales de cambio de fase (PCM) permiten una recarga muy rápida del sistema de almacenamiento de calor y una descarga lenta y controlada para calentar la edificación en el horario nocturno durante una gran cantidad de horas.
- 4.- Las temperaturas de operación relativamente bajas, no suelen superar los 40°C, permiten una gran eficiencia térmica del sistema de captación solar, así mismo ya que se utilizar el aire como fluido calo portador, no es necesario que su temperatura sea mucho más elevada que la de los espacios a acondicionar, generalmente unos 8-12°C más elevada.

Las conclusiones extraídas son las siguientes:

- Un sistema de captación solar de entre 10 y 20 m², junto con unas tasas de aire como fluido calo portador de 100m³/h m² permiten una adecuada fluidización del sistema de almacenamiento de calor.
- Un sistema de almacenamiento de 2000 kg de materiales de cambio de fase permite dar servicio a la mitad de los requerimientos de calentamiento nocturno de una vivienda unifamiliar situada en una zona climática fría en invierno.
- Cuando el sistema se sobredimensiona hasta disponer de 20m² de colectores solares y un sistema de almacenamiento de 5000kg de PCM se puede llegar a calefactar sin problemas viviendas de las mismas dimensiones situadas en zonas climáticamente muy severas en invierno como Zurich o Estocolmo.

-El uso de un sistema de almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM), permite reducir significativamente los requerimientos de energía para calefacción de la vivienda.

- M. F. Evren. A. Özsunar et al.[15] presentan un estudio sobre un sistema de calefacción híbrido, un sistema convencional y PCM.

Para ello plantean la utilización de manera simultánea de un sistema de climatización tipo fancoil que funciona básicamente por convección con un sistema de almacenamiento de calor mediante el uso de materiales PCM, cuyo funcionamiento se basa en la radiación. El uso de manera simultánea de ambos sistemas de climatización, permite optimizar el uso de la energía en la climatización de una estancia. Para el estudio se construyó una cámara con tuberías de agua para enfriamiento o calentamiento en el interior de todas sus paredes que sirviera como modelo.

El uso de paneles de PCM en paredes conectados a la red de tuberías de calefacción. Permite climatizar la estancia y absorber los picos de demanda energética, disminuyendo con ello la producción de gases de efecto invernadero.

Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

-El sistema híbrido es capaz de suministrar un punto óptimo de energía mediante los paneles de PCM, en concreto hasta el 70% de la energía de la carga térmica necesaria y el 30% restante lo suministra el sistema convectivo. Por lo que un sistema híbrido que funciona en ese punto óptimo de relación entre sistemas ofrece un consumo mínimo de energía y un máximo en cuanto a confort térmico. El consumo es inferior que si se utilizara únicamente un sistema basado en radiación, por lo que el sistema híbrido es el más eficiente.

- D. Wang. C. Wu et al.[16] presentan un sistema de calefacción mediante suelo radiante sobrecalentado.

El estudio presentado en el artículo reseñado anteriormente es novedoso, ya que plantea una gran diferencia con respecto al tradicional suelo radiante. En el tradicional suelo radiante, la temperatura del agua raramente supera los 40°C al objeto de que la temperatura que se alcance en la zona de contacto del suelo con los habitantes de la estancia no produzca problemas de salud. Este hecho limita la temperatura de impulsión del agua a la zona a calefactar y por lo tanto la cantidad de kWh que se pueden suministrar al habitáculo. Pero en el estudio presentado, se plantea una solución de compromiso y es hacer circular por las tuberías embebidas en un falso suelo agua a temperaturas entre 35°C y 55°C, pero para impedir los problemas que ese exceso de temperatura pueda causar, se sitúa un falso suelo con pequeños agujeros que permiten que el aire caliente fluya hacia la parte superior de la estancia realizando una transferencia térmica en forma de convección. De esa manera la temperatura del suelo habitable nunca supera un límite de seguridad, pero se puede contar con el aire caliente procedente de las tuberías para calentar la estancia. El diseño, el tipo, el número, y la densidad de los agujeros será clave para determinar el diseño de la instalación.

Entre las principales conclusiones destaca que el realizar agujeros en el suelo permite que se alcance la temperatura estacionaria de 20°C una hora antes que si el suelo no dispusiera de dichos agujeros.

- K. Allaerts. J. et al [17] presentan un sistema de calefacción híbrido mediante bomba de calor con geotermia.

El sistema consiste en el uso de geotermia combinada con el aire exterior como fuente de calor para la misma bomba de calor, si bien en la mayoría de las ocasiones este tipo de sistemas híbridos necesitan el uso de una torre de refrigeración, lo cual dificulta el uso en todo tipo de edificios, especialmente en las reformas de edificios ya existentes.

El estudio se realizó en una escuela al norte de Bélgica, que dispone de suelo radiante, fancoils y climatizadores.

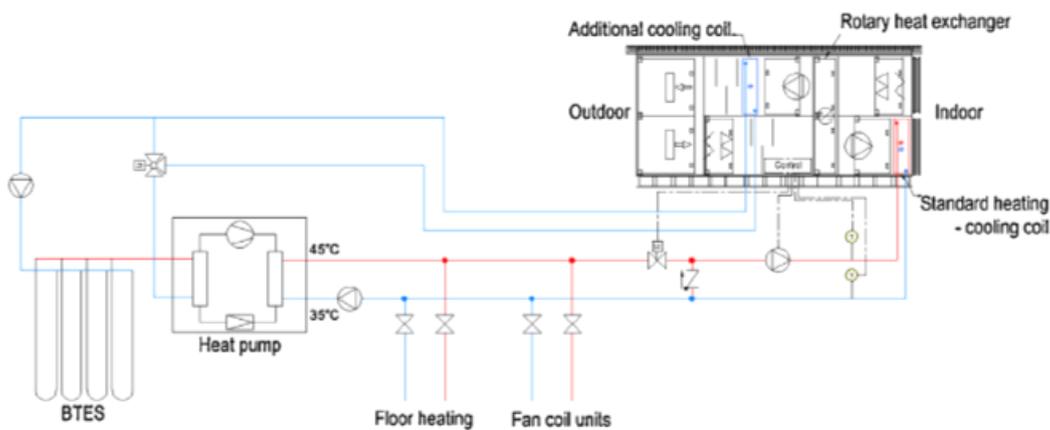


Figura 2.5.- Esquema de principio de sistema híbrido de calefacción con geotermia.

En el estudio se realiza la medición de la energía consumida considerando la adición de un sistema de geotermia capaz de suministrar tanto calor como frío al edificio y se compara con lo estimado con un modelo matemático, cuyos resultados concuerdan satisfactoriamente con los resultados obtenidos. La reducción total en consumo de energía primaria con respecto a la situación previa de instalación del sistema de geotermia se puede decir que alcanza el 10.7%.

2.2.2 Refrigeración: Estudios y tecnología.

2.2.2.1 Condensación por aire y agua.

Los sistemas de refrigeración condensados por aire son unos de los más utilizados en la actualidad. Consisten en el uso de una máquina enfriadora alimentada mediante energía eléctrica, o incluso mediante gas, la cual produce el agua fría en el evaporador para refrigerar el edificio, hasta ese punto el sistema es coincidente con lo utilizado en la climatización condensada por agua. La diferencia estriba en que la condensación por aire utiliza este medio, el aire para disipar el calor producido durante el proceso en la máquina refrigeradora, mientras que en la condensación por agua, se utiliza el agua para disipar ese calor.

Las principales ventajas que tienen las máquinas condensadas por aire son la sencillez en su construcción y mantenimiento, no tienen que mover grandes cantidades de agua, lo cual las hace muy aptas para un uso más doméstico, el bajo riesgo de Legionela, al eliminar zonas con humedad a temperaturas en torno a 20°C, ya que se elimina el riesgo de que existan zonas donde puedan proliferar bacterias.

Aunque también cuentan con desventajas, algunas de las cuales están haciendo que cada vez más se empiecen a utilizar otros sistemas: la principal desventaja es su bajo rendimiento comparadas con las máquinas condensadas por agua, sobre todo a cargas parciales, aún los equipos más eficientes condensados por aire no se aproximan a los rendimientos de las máquinas condensadas por agua. Lo cual está haciendo que debido a las necesidades de disminuir la producción de CO_2 y la factura energética, aunque la complejidad de mantenimiento es muy superior, se pueda ver una tendencia creciente al uso de las máquinas condensadas por agua.

Además las máquinas condensadas por agua deben llevar asociadas un equipo de disipación de calor que las hace más aparatosas y de mantenimiento más complejo y caro, generalmente se trata de torres de refrigeración.

Se han realizado distintos estudios para ver la cantidad de ahorro conseguido mediante el empleo de máquinas condensadas por agua, frente a las condensadas por aire, alguno de ellos de manera muy extensa al implicar gran cantidad de edificios tanto antes como después de realizar el cambio de sistema de refrigeración [18], [19] el motivo ha sido demostrar cuan eficientes son este tipo de sistemas de refrigeración frente a los condensados por aire y ver los ahorros energéticos y de producción de gases de efecto invernadero.

También existe otra tendencia que es la de aumentar la eficiencia de los sistemas condensados por aire, por lo que se han desarrollado diferentes técnicas como:

-Uso de depósitos de inercia para allanar los picos de demanda del edificio y por lo tanto obtener una factura energética más barata.

El sistema consiste en la interposición, generalmente antes de la entrada del agua a la máquina enfriadora, de un depósito de inercia donde se almacena el agua que previamente ha sido enfriada en un periodo diario en el que el consumo energético es más barato. Para ser posteriormente empleada durante el período en el que la energía eléctrica tiene un coste superior. De ese modo, al requerir demanda de frío el edificio la temperatura del agua que tenga que enfriar la máquina será inferior a la que tendría si el agua proviniera directamente de la instalación.

Existen variantes, en las que el depósito de inercia, no es de agua, sino de materiales PCM (materiales de cambio de fase), que tienen una mayor capacidad de inercia y que son capaces de almacenar mayor cantidad de energía en menos espacio [20],[21].

-Uso de agua pulverizada sobre el intercambiador de aire en enfriadoras condensadas por aire [19].

Diferentes estudios elevan el COP de la máquina bajo estas circunstancias de uso entre un 21% y un 51% dependiendo de las condiciones de operación, llegando de ese modo a disminuir el consumo eléctrico en un 14%.

En estos sistemas, lo que se hace es pulverizar agua sobre una superficie porosa, Figura 2.6. que posteriormente es atravesada por aire, el cual se enfría debido a la evaporación del agua, saliendo el aire de dicha superficie a una temperatura significativamente inferior a la que entró, aumentando por lo tanto su capacidad de captar calor en el condensador de la máquina enfriadora, [22].

El uso de esta técnica implica el incremento del COP de la máquina entre 0.034 y 0.067 por cada grado de pre enfriamiento realizado.

Si bien esta técnica aumenta el COP de la máquina, también tiene desventajas como pueden ser el depósito de materiales en las lamas del condensador, que lleva a la proliferación de bacterias. y a la corrosión de las lamas.

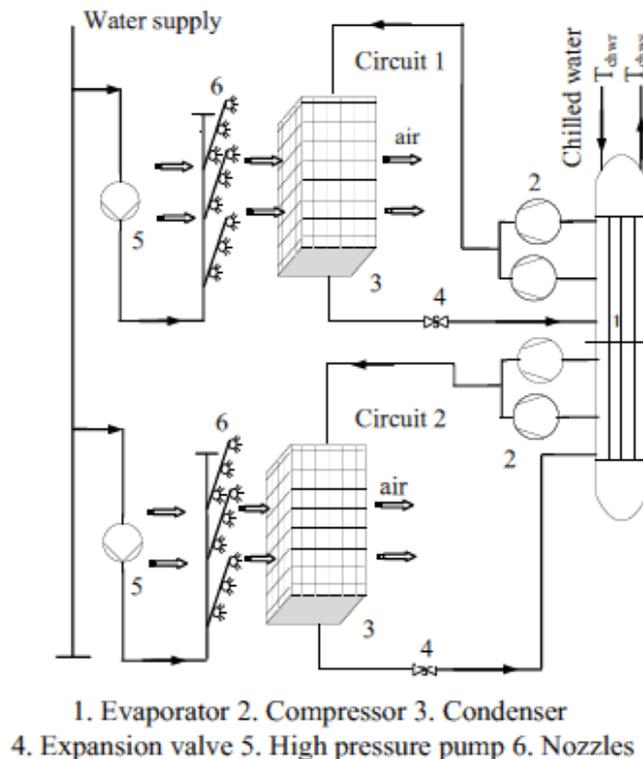


Figura 2.6.- Esquema de uso de pulverización de agua en el condensador de las máquinas enfriadoras condensadas por aire. [19]

Existen diferentes estudios sobre el espesor idóneo del material absorbente, la cantidad de agua pulverizada, el ajuste de la velocidad del aire al pasar por el material, etc. Todo ello para optimizar el rendimiento del sistema[18], [23], [24], aunque sin olvidar que otro de los objetivos es mantener bajo el riesgo de Legionela [25].

En cuanto al uso de enfriadoras condensadas por agua, se han desarrollado en los últimos tiempos nuevas tecnologías basadas principalmente en el aumento de la

eficiencia de la disipación de calor y en la disminución de los costes de mantenimiento asociados a las tradicionales torres de refrigeración.

- J. C. Herrera. C. R. Chamorro. and M. C. Martín. “Experimental analysis of performance, greenhouse gas emissions and economic parameters for two cooling systems in a public administration building.” *Energy Build.* vol. 108. pp. 145–155. 2015 realizan un estudio sobre el uso de enfriadores adiabáticos como método de disipación de calor [26].

- F. W. Yu et al [27], además G. Ding et al en el artículo. “Performance analysis and improvement of air-to-water chiller for application in wide ambient temperature range.” *Appl. Therm. Eng.* vol. 25. no. 1. pp. 135–145. 2005. Estudian la variación según condiciones exteriores del caudal que pasa por el condensador. El control sobre el caudal de agua que pasa por el condensador es un método que permite regular la cantidad de calor evacuado de manera indirecta y adaptar las condiciones de la máquina a las condiciones de funcionamiento óptimo en función de las condiciones ambientales y de demanda [28].

-También Y. Liu. Et al en el artículo “Using social norm to promote energy conservation in a public building.” *Energy Build.* vol. 133. pp. 32–36. 2016 y T. Hong. S. C. Taylor-Lange. S. D’Oca. D. Yan. and S. P. Corngati. “Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings.” *Energy Build.* vol. 116. pp. 694–702. 2016 estudian la variación de las temperaturas de consigna y el porcentaje de carga de funcionamiento en relación al comportamiento de los ocupantes del mismo, [29], [30].

-Ankur Khandelwal, Prabal Talukdar*, Sanjeev Jain en el artículo “Energy savings in a building using regenerative evaporative cooling”, plantean un sistema de enfriamiento que es mezcla entre un sistema evaporativo directo e indirecto, denominado sistema de enfriamiento evaporativo regenerativo, en el cual el aire tiene un primer enfriamiento tras pasar por un intercambiador, el cual es enfriado desde una torre de refrigeración y posteriormente es vuelto a enfriar en un enfriador evaporativo, [31].

2.2.2.2 Máquinas enfriadoras de absorción y adsorción.

Son unas máquinas enfriadoras capaces de producir frío partiendo de una fuente energética como puede ser el calor procedente de una fuente relativamente alta que permite el aprovechamiento de calores residuales o fuentes energéticas alternativas como la solar y geotérmica.

-El principio de funcionamiento de las máquinas enfriadoras de absorción: es la capacidad de absorber o ceder calor de ciertos líquidos al absorber otras sustancias en fase vapor mediante un proceso exotérmico.

La diferencia con los sistemas de compuestos clásicos, radica en que a la salida del evaporador el refrigerante es absorbido por una solución líquida (absorbedor) que se comprime hasta la presión de alta y se recupera el refrigerante para llevarlo al condensador mediante el aporte de calor (en el generador). La absorción es exotérmica.

Generalmente la instalación utiliza agua como refrigerante y una disolución de LiBr como absorbente.

Existen diferentes clasificaciones de este tipo de máquinas y las más importantes son las siguientes: En función del fluido refrigerante y absorbente (utilizándose amoníaco como refrigerante y agua como absorbente), máquinas de absorción de simple efecto y las de doble efecto (en función del número de veces que se suministra calor al sistema) pueden ser de simple y doble efecto, estas últimas producen un mayor rendimiento. En cuanto a rendimientos se puede decir que dependen del sistema de accionamiento estando entre un COP=0.7 si el sistema de accionamiento es agua caliente, a un COP=1.5 si el sistema de accionamiento es llama directa.

Actualmente existen diferentes tecnologías tendentes a mejorar el rendimiento de este tipo de instalaciones:

-Uso de PCM en conjunción con enfriadoras de absorción [21][32].

Se han empezado a utilizar materiales de cambio de fase (PCM) en los ciclos de este tipo de máquinas enfriadoras, ya que en determinados ambientes climáticos húmedos y cálidos, en los que la expulsión de calor residual del sistema no es fácil mediante el uso de torres de refrigeración. Se plantea la posibilidad de almacenar el calor que desprende la máquina en tanques de materiales PCM, para poder ser posteriormente eliminado en las horas nocturnas, en las que el calor es mucho menor.

-Uso de energía solar en conjunción con enfriadoras de absorción:[21][32]

El frío solar se basa en aprovechar el calor del sol para conseguir frío. Consiste básicamente en transformar la energía solar para climatizar en verano, obteniendo agua caliente sanitaria durante todo el año y reforzando la calefacción en invierno. Este sistema garantiza un ahorro de hasta un 70% ya que, por un lado, se utiliza una fuente de energía renovable y por otro, se reduce el consumo de electricidad. Los sistemas de refrigeración solar tienen la gran ventaja de que se utilizan cuando coinciden los niveles máximos de demanda y de producción, ya que las necesidades de climatización de un edificio se producen en la época de más radiación solar. Son especialmente eficientes y adecuados para edificios que precisan de refrigeración y calefacción intensivas, como es el caso del sector residencial y terciario (hoteles, centros comerciales, oficinas, viviendas unifamiliares. etc.), cada vez con más demanda de confort. Otra de las ventajas es que se evitan los problemas de dispersión energética que las instalaciones de energía solar térmica tienen en verano, evitando el sobrecalentamiento de paneles y por lo tanto los disipadores de calor.

-Refrigeración por absorción. Tecnologías de triple fase sin refrigerante[33]:

La tecnología patentada de triple fase de absorción permite conseguir un almacenamiento e integración de la energía de forma eficiente. El proceso alterna un ciclo entre tres estados de agregación – sólido, líquido y gaseoso – permitiendo una potencia continua de refrigeración o de calefacción. Estos equipos pueden operar en tres modos diferentes – carga, calefacción y refrigeración. El modo de carga almacena energía secando una sal (Cloruro de Litio - LiCl) que puede ser utilizada posteriormente

cuando sea necesario, realiza un almacenamiento de energía en forma de energía química. La máquina puede cargar y descargar simultáneamente. Esto quiere decir que siempre puede recibir energía térmica y al mismo tiempo suministrar calor o frío (calefacción y refrigeración).

- Respecto a las máquinas enfriadoras de adsorción, la adsorción es un proceso reversible mediante el cual un gas (adsorbato) es fijado en un sólido (adsorbente), habitualmente un material poroso. Se trata de un proceso exotérmico, debido a la condensación del adsorbato más la energía generada en la unión adsorbente-adsorbato. A su vez, la desorción es el proceso inverso de la adsorción y constituye un proceso endotérmico.

Las principales características de este tipo de máquina refrigeradora son: el uso de un absorbente líquido y un adsorbente sólido, su ciclo de funcionamiento no es continuo y tiene una fase de carga y otra de descarga, el COP de estas máquinas se encuentra entre 0.55 - 0.65 (cuando son máquinas de simple efecto) y la temperatura de la fuente caliente puede ser inferior a la de las máquinas de absorción, a partir de 55° C, lo que permite el uso de captadores solares planos, la máquina de adsorción trabaja generalmente con agua como refrigerante y con sílica-gel como adsorbente.

Con el objetivo de aumentar el rendimiento, se pueden instalar máquinas de 3, 4 o 6 o más cámaras adsorbentes y 1 o 2 evaporadores con distintos niveles de presión. Las máquinas de doble efecto pueden alcanzar un COP de 1.2 y las máquinas de triple efecto con 6 cámaras pueden llegar a un COP de 1.5.

2.2.3 Climatización con Materiales de Cambio de Fase (PCM).

Los materiales de cambio de fase (PCM) tienen un comportamiento de almacenamiento de energía térmica durante el período en que la que esta es más elevada, y la posterior liberación de la misma durante el período en que hay una necesidad. Dicha característica puede ser muy interesante en casos en los que hay un exceso de calor o de frío durante unos períodos del día y una necesidad en otros, de esa manera disminuyen los picos de demanda y pueden reducirse de manera considerable las potencias pico de las máquinas productoras de frío o calor.

El uso de estos materiales tiene la capacidad de mantener la temperatura interior de los habitáculos dentro de rangos de confort con muy pequeñas fluctuaciones de temperatura. Por ello reducen el consumo de energía y el tamaño de las máquinas productoras, con un escaso impacto en la configuración existente del edificio.

El funcionamiento es el siguiente, cuando la temperatura aumenta, los PCM absorben calor en un proceso endotérmico y cambian de fase de sólido a líquido, Cuando la temperatura descende, los PCM liberan el calor almacenado en un proceso exotérmico y vuelven a la fase sólida. Determinados PCM no llegan a satisfacer completamente los requerimientos de temperatura de la zona a climatizar, es por ello, que existe una múltiple clasificación de materiales que pueden trabajar en rangos de temperatura diferentes.

Según su composición estos materiales se pueden clasificar como compuestos orgánicos, inorgánicos, y mezclas eutécticas, teniendo cada grupo un rango típico de temperaturas de fusión, tal y como se muestra en la Figura 2.7, [34], [35].

Las ceras de parafina, los hidratos de sales, los ácidos grasos, y los compuestos eutécticos se usan desde hace más de 30 años, pero no a nivel industrial y de construcción, dónde ha sido en los últimos años cuando se ha incrementado su uso significativamente.

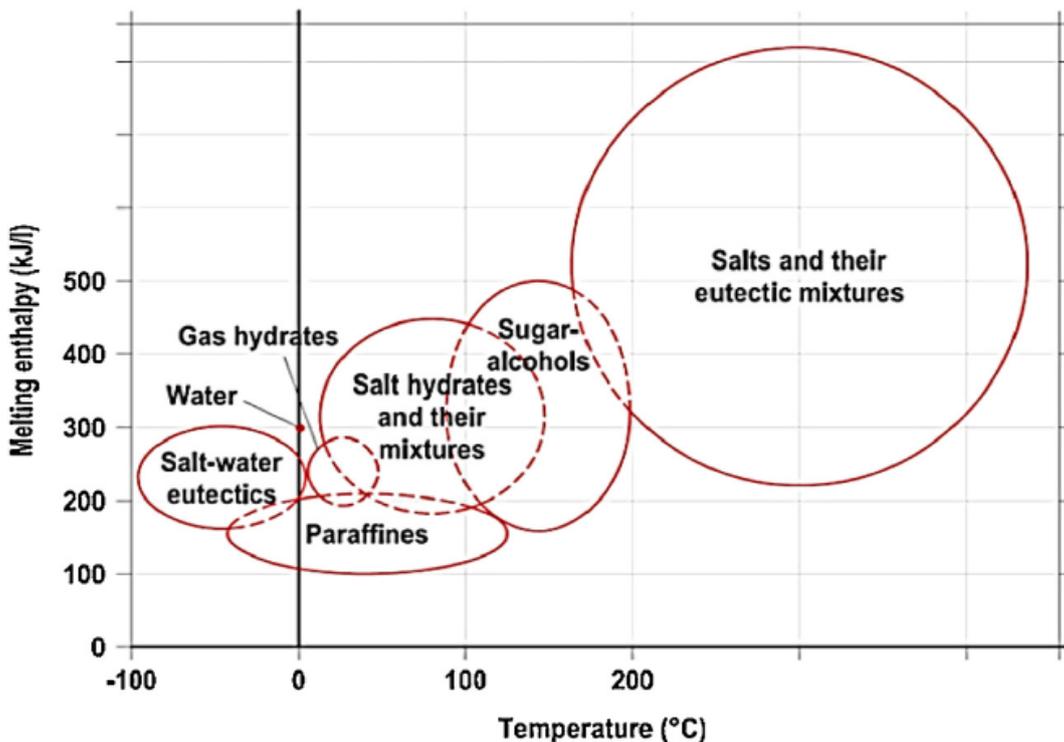


Figura 2.7.- Relación entre la entalpía de fusión de los PCM y la temperatura para diferentes grupos de materiales PCM. Fuente [34]

-PCM orgánicos: Se trata de materiales como ácidos grasos, ésteres, alcoholes, glicoles, etc, los cuales tienen unas características que los hacen muy adecuados para almacenar el calor latente en los edificios. Además suelen contar con un amplio rango de temperaturas de trabajo, son químicamente estables, no suelen ser corrosivos, no son tóxicos, y se vuelven sólidos con muy poca cantidad de frío, aunque presentan el problema de no ser muy estables a temperaturas elevadas, tienen densidades bajas bastante inferiores a otros materiales como el agua, o las sales hidratadas.

-PCM inorgánicos: Suelen ser sales hidratadas, y metálicas, suelen tener una buena conductividad térmica, y una alta entalpía respectivamente, no son materiales caros y son inflamables, además de poder causar corrosión. Los materiales más usados de este tipo son las sales hidratadas debido a su elevada densidad de almacenamiento de calor con muy poca variación de volumen durante el cambio de fase.

-PCM eutécticos: Estos materiales son una mezcla de varios materiales sólidos para conseguir las propiedades deseadas, principalmente un elevado calor latente y un punto de fusión concreto.

Además de las aplicaciones mostradas con anterioridad, existen otras formas de utilización de este tipo de materiales en instalaciones de calefacción.

-Refrigeración con free cooling [35]: En el uso de esta técnica se utiliza una unidad de almacenamiento que contiene los materiales PCM dentro de la habitación a refrigerar y a través de la cual se hace circular el aire de la habitación, al objeto de climatizar la misma, Previamente se ha utilizado el aire nocturno, más fresco, para que el material PCM almacene el frío, por lo que su eficiencia dependerá de la variación térmica diaria entre el día y la noche, debiendo ser esta superior a 15°C para que se note el efecto.

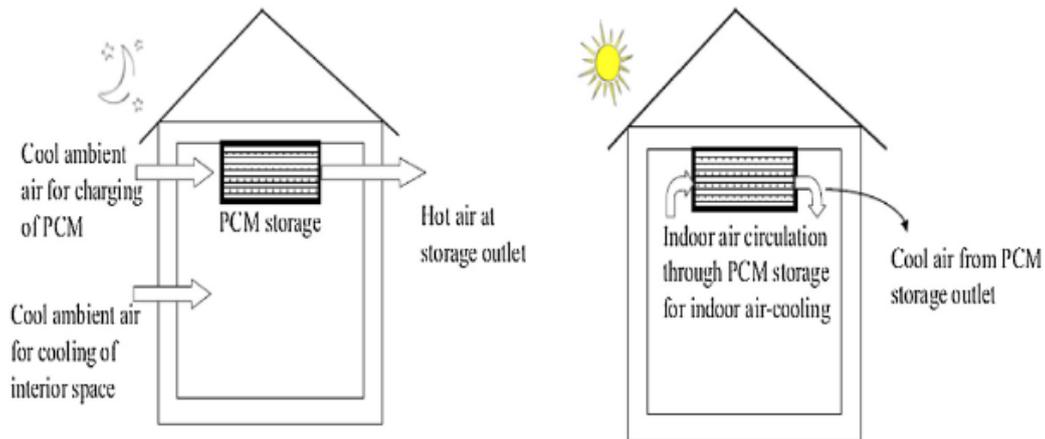


Figura 2.8.- Uso del sistema free-cooling con materiales PCM.[35]

-Integración de materiales PCM en la construcción [35]: En este sistema los materiales PCM se utilizan para la construcción del recinto a climatizar, y de esa manera el almacenamiento cerca de la zona a climatizar está garantizado.

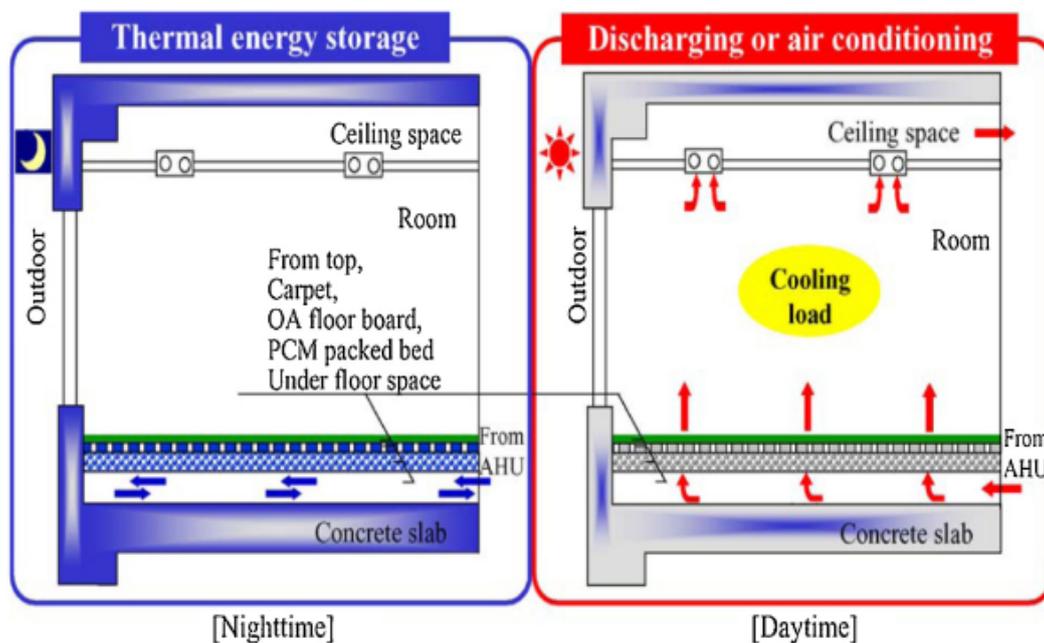


Figura 2.9.- Esquema de funcionamiento de los materiales PCM integrados en la construcción. [35]

-Integración de materiales PCM en los sistemas de aire acondicionado, [34], [35]. El uso de estos materiales en los sistemas de aire acondicionado tiene su principal aplicación en la disminución de los picos de demanda que provocan picos de consumo, que son inmediatamente penalizados por las compañías eléctricas. Se utilizan como depósitos de inercia de agua, pero con menor volumen, y mayor capacidad de almacenamiento energético.

Tal y como se puede ver en la Figura 2.10, se utiliza un depósito de inercia relleno de materiales PCM por cuyo interior circula agua climatizada que cederá su energía a dichos materiales, para poder ser utilizada cuando sea demandada.

El tipo de configuración o disposición de los materiales PCM depende del diseño del depósito, pueden ser en forma tubular, en forma de cubo, o en forma de pequeñas bolas.



Figura 2.10.- Tanque de almacenamiento en la instalación de refrigeración de la Universidad de Sevilla [34].

-Integración de materiales PCM en materiales dentro del habitáculo [36]: Un ejemplo típico de este tipo de uso es la instalación de persianas realizadas con este tipo de materiales, además y dado que a través de las ventanas es donde se producen las principales ganancias de calor o frío, el uso en ese punto de los PCM garantiza que su eficiencia va a ser máxima.



Figura 2.11.- Persiana realizada con materiales tipo PCM.[36]

2.3 REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS.

Actualmente y dada la situación de crisis económica se está produciendo un fenómeno de mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de los edificios actualmente existentes. El motivo no es el tratar de cumplir algún objetivo de alguna Directiva Europea, sino el que más sinergias puede mover, y es el dinero.

Desde que estalló la crisis económica del 2007, se produjo en primer lugar una disminución de la demanda de energía primaria, en todas sus variantes, desde energía eléctrica, a consumo de gas, o combustibles para automoción.

En ese momento no existía capacidad económica para mejorar el rendimiento de ninguna instalación, sino que lo más inmediato era gastar lo menos posible, aún a riesgo de no cumplir con los requerimientos mínimos.

Pero en los últimos años se viene produciendo un fenómeno distinto, y es que se está produciendo un crecimiento de la demanda energética, que no acompaña en toda su intensidad al crecimiento económico, y esto es debido a las inversiones realizadas en los años previos al objeto de mejorar la eficiencia energética de las instalaciones y edificios.

Durante estos años y a modo de ejemplo se han llevado a cabo una serie de medidas en edificación como pueden ser:

- Entrada en vigor de la normativa que obliga a la instalación de contadores individuales en edificios con calefacción central, [37].
- Promoción del cambio de ventanas antiguas a otras con más aislamiento térmico.
- Entrada en vigor el CTE (Código Técnico de la Edificación) [10] que ha obligado a medidas de ahorro energético (recuperadores de calor en climatización en grandes instalaciones de edificios, ventilaciones en viviendas, aislamientos de envolventes mucho más restrictivos, etc.). Esta nueva normativa obliga en los edificios de nueva construcción a seguir sus directrices en materia de eficiencia energética, pero permite libertad para que el proyectista justifique que la medida alternativa por la que se opta producirá más ahorro energético que

las obligadas reglamentariamente. Lo cual está llevando a que se realicen edificios con medidas de eficiencia como geotermia, aerotermia, muros trombe, etc.

- Creación de nuevas versiones de los programas de simulación energética LIDER y CALENER.
- Obligatoriedad de realizar el certificado energético de edificios, tanto públicos como privados, y especialmente en la venta o alquiler de viviendas tanto de nueva construcción, como viviendas antiguas.
- Subvenciones para el cambio de instalaciones de calefacción centralizada de gasóleo antiguas, por otras más modernas de gas natural, o de biomasa.

De todas esas medidas hay que hacer hincapié en las que conllevan un menor consumo energético de los edificios ya construidos, manteniendo las condiciones de confort, y que engloben el concepto de “rehabilitación energética de edificios”.

En este punto hay que señalar como relevante el artículo publicado por N. Garrido-Soriano et al.[38], en el que se compara las normativas de eficiencia energética nacional y autonómica, señalando que en muchos puntos existe disparidad entre las dos normas, ocasionando confusión entre los proyectistas, además estiman la contribución de las normativas de eficiencia energética al ahorro conseguido, y su impacto económico

En ese trabajo, y mediante el uso de simulación informática se estudia la influencia de diferentes factores como la protección solar, la iluminación, la ventilación, la influencia de la ocupación, y la evaluación del confort.

La conclusión es que las medidas de ahorro energético pasivas, generalmente presentan un mejor comportamiento en la estación fría, siendo mejor el aislamiento en la parte exterior de la fachada, y en la parte interior de la cubierta. Sin embargo, los costos de este tipo de medidas son muy superiores a utilizar una cámara de aire como aislamiento.

Además, el efecto del cambio del tipo de ventanas tiene un efecto muy importante de confort en la estación fría, aunque la inversión también es alta.

Todas las medidas pasivas señaladas en verano no tienen siempre un efecto beneficioso, especialmente en las horas donde la radiación solar es elevada.

De este trabajo, se obtiene un dato revelador en relación al potencial de ahorro energético conseguido por las normativas tanto nacional, llega a ser del 29%, como autonómica que se queda en un 14.3%. Como consecuencia de la influencia de la normativa en la rehabilitación de edificios, las medidas pasivas de ahorro energético en la rehabilitación de edificios se ha visto que puede llegar a ser muy importantes, tal y como indica [38].

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.

El edificio cuya instalación de climatización es objeto del presente estudio es la sede de las Cortes de Castilla y León. Se trata de un edificio institucional, donde se ubica la asamblea legislativa regional de la comunidad autónoma de Castilla y León, está situado en la ciudad de Valladolid, dentro de la misma Comunidad autónoma anteriormente reseñada, a una altitud de 700 metros sobre el nivel del mar y sus coordenadas son las siguientes: 41.6439N, 4.7446W.

Valladolid por su localización geográfica tiene un clima que diferentes autores califican como continental mediterráneo, [39] el cual consiste básicamente en un clima mediterráneo con inviernos más fríos y veranos más cálidos, debido a las condiciones de la meseta interior, y su alejamiento al mar, y su relativamente gran elevación respecto al nivel del mar. La media mensual de temperatura mínima diaria es de 0.2°C en enero y la media mensual de temperatura máxima diaria en julio es de 30.7°C. De modo que el clima en Valladolid se podría encuadrar dentro del tipo Csb. de acuerdo al clásico y ampliamente utilizado sistema de clasificación climática de Köppen-Geiger, [40].

Se trata de un edificio moderno, inaugurado en el año 2007, con las últimas tecnologías en comunicaciones, y control energético, siendo el hormigón y el vidrio los principales componentes de la construcción, [41]. Dispone de 35 200 m² construidos, siendo el área climatizada 22 415m² y está formado por cuatro volúmenes independientes:

El primer volumen, de planta rectangular, se integra por las plantas baja, primera y segunda. La fachada vista es de hormigón blanco, con unas dimensiones de 175 m de largo por 50 m de ancho. Este volumen se abre con una celosía abierta en su fachada oeste a los espacios destinados a oficinas. En su fachada sur se abre un gran hueco al que da el Salón de Recepciones y el despacho de Presidencia. En la fachada este, bajo el Hemiciclo, se ha abierto un hueco hasta la planta primera, ofreciendo con ello condiciones de iluminación a la zona de entrada al salón de plenos. La altura de este volumen llega a los 14.50 m.

El segundo se corresponde con la biblioteca que, con franjas horizontales de protección de aluminio y vidrio, se abre hacia el plano inclinado de césped que recorta la perspectiva desde la Avenida de Salamanca.

El tercero se corresponde con el volumen del Hemiciclo, con planta de 26x26 m y altura de 13.30 m sobre la cubierta del volumen principal. Su fachada exterior se ha diseñado en vidrio serigrafiado utilizando imágenes digitalizadas de alabastro, con una interpretación de los arquitectos de color y volumen ofreciendo una imagen más cálida y que contrasta con el hormigón blanco.

El cuarto es el volumen de vidrio con muro cortina de dos plantas y que nace de la cubierta del basamento, pero a la vez se macla en él en los patios. Es un volumen de 150 m de longitud por 10 metros de anchura, con perfilera de aluminio en color burdeos-marrón.

A su vez el edificio está dividido en cinco edificios independientes con su propia capacidad de movimiento para dilataciones y contracciones.

La ocupación un día normal del edificio es de 150 personas, y el horario de trabajo habitual es de 8:00 a 16:00, sin embargo y debido a eventos políticos como pueden ser las sesiones plenarias, la ocupación del edificio puede ascender a un total de 350 personas, y el horario de trabajo puede alargarse hasta más allá de las 21:00 h.



Figura 3.1.- Fotografía exterior del edificio. Fuente CCyL.

3.2 REQUERIMIENTOS DE CLIMATIZACIÓN DEL EDIFICIO.

Diariamente se procede a programar el uso de los sistemas de climatización del edificio teniendo como base las siguientes premisas:

- El tipo de uso de cada sala.
- El horario de uso de cada sala.
- La climatología exterior.

En base a estos requerimientos se puede programar el sistema de climatización para que suministre la energía necesaria, dónde y cuándo es precisa.

Existe la posibilidad de dotar de horarios independientes a:

- La climatización de cada planta mediante fancoils individuales, pudiéndose regular independientemente los circuitos siguientes:

- Planta 4^a
- Planta 3^a
- Planta 2^a
- Planta 1^a
- Planta baja

-La climatización en las salas mediante los climatizadores señalados en la Tabla 3.1

Tabla 3.1.- Climatizadores, denominación y usos,

Denominación Climatizador	Sala
1,1	Despacho pl 1 ^a
1,2	Sala de juntas
2	Aire primario pl2
3	Biblioteca
4	Despacho m5 pl2
5	Sala Cortes de León
6	Sala ponencias
7	Sala Castillo Fuensaldaña
8	Sala Junta portavoces
9	Sala Campos Castilla
10	Depósito sótano
11	Salón de actos
12	Sala polivalente
13	Comedores
14,1	Almacén pl 2
14,2	Despacho Presidente
15	Salón Recepciones
16	Cafetería
17	Aula
18	Ludoteca
19	Aire primario 1
20	Aire primario 2
21	Vestíbulo
22	Vestíbulo recepción
23	Hemiciclo
24	Vestíbulo Hemiciclo
25	Vestíbulo Hemiciclo pl2

Aunque en la práctica lo que se utiliza es un horario común para el sistema de calefacción o refrigeración, al cual se “adhieren” las zonas a climatizar según el uso que se las vaya a dar.

El procedimiento que se sigue, consiste en la revisión diaria del calendario de actividades presente en la intranet, en el cual se publican los usos de cada sala, incluyendo horarios y necesidades especiales.

Todo ello teniendo en cuenta que los horarios de uso del edificio son muy amplios, pudiendo ir desde las 7.30 de la mañana hasta las 23h o 24h.

Según las estaciones climáticas el tipo de horario más habitual es el siguiente:

Tabla 3.2.- Horarios del sistema de climatización vs época climática.

Época	Horario
Invierno	4.00h-20h
Primavera	6.30h-18h
Verano	9.00h-20h
Otoño	7.00h-18h.

De modo que el consumo de gas para calefacción promedio para un día según la época climática es el siguiente:

Tabla 3.3.- Consumos de gas vs época climática.

Época	Consumo gas (m ³)
Invierno	800-1200
Primavera	500-700
Verano	0
Otoño	300-600

3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

El sistema de calefacción consiste en:

3.3.1 Sistema de producción de calor.

2 calderas de la marca VULCANO-SADECA con una potencia calorífica de 1 046 kW, 2 quemadores para gas natural de funcionamiento modulante para caldera Vulcano Sadeca marca MONARCH, modelo FK 4.135-GROA, modulante, bajo nivel de emisión de Nox, con programador y cuadro eléctrico incorporado. Incluso rampa de gas completa. Las dos calderas disponen de dos chimeneas de doble capa que llegan hasta la cubierta.

Desde el sistema de producción de calor se genera el agua caliente que sirve para alimentar los elementos terminales, fancoils y climatizadores, pero para ello antes tiene que ser impulsado.

En la Figura 3.2 se puede ver un esquema de principio de la instalación, en la que se pueden ver 3 bombas en paralelo que impulsan hacia las calderas, y tres conjuntos dobles de bombas que impulsan hacia cada uno de los tres circuitos del edificio:

- Fancoils de planta baja, primera y segunda.
- Fancoils de planta tercera y cuarta.
- Climatizadores de todas las plantas.

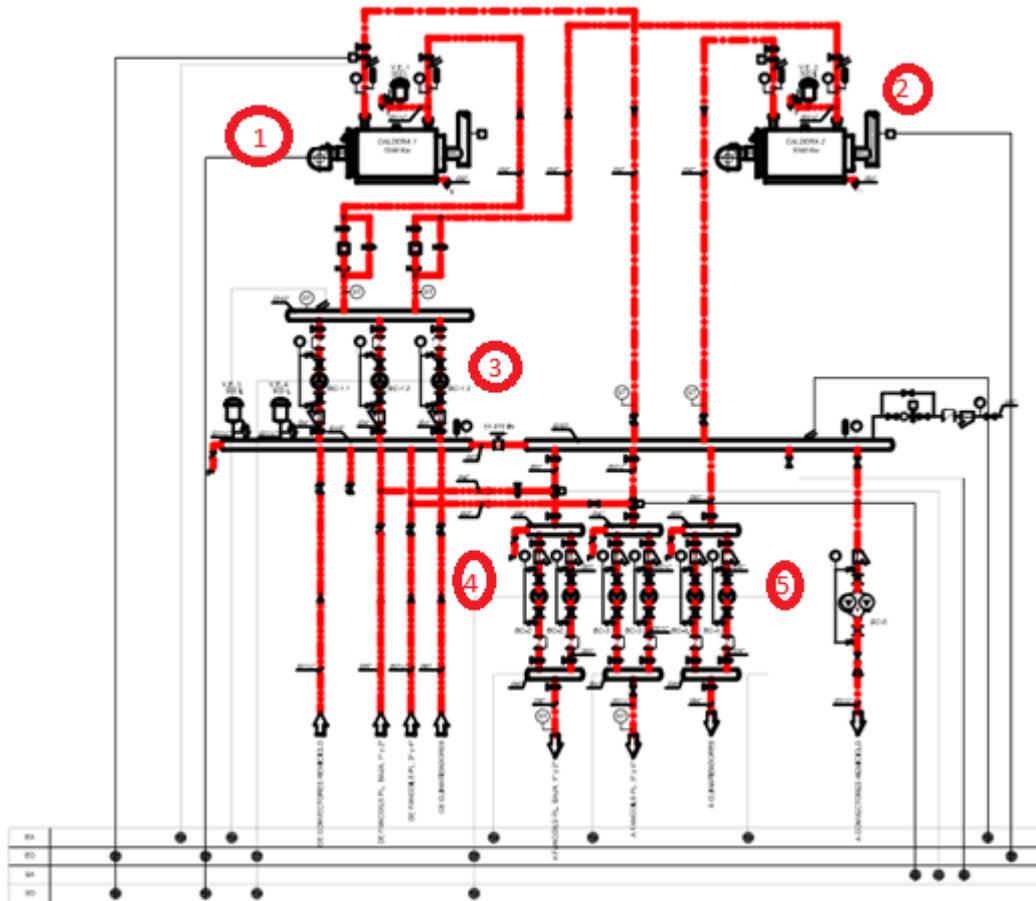


Figura 3.2.- Esquema de principio de la instalación de calefacción. Siendo 1 y 2 las calderas. 3 las bombas de primario. 4 las bombas de impulsión a circuitos. 5 bombas radiadores.

También se puede ver una salida a un circuito de radiadores de apoyo situados en las paredes laterales del hemiciclo. Posteriormente los mismos circuitos de impulsión aparecen de retorno.

3.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

3.4.1 Sistema de producción de frío.

2 enfriadoras condensadas por aire marca McQuay. modelo ALS E XE 229.2

1 enfriadora condensada por agua marca Carrier. modelo 30 XW-P0862

1 enfriador adiabático, marca Baltimore, modelo DFCV S9124 M613

La configuración de las enfriadoras, una condensada por aire, en paralelo, con la condensada por agua, y a su vez, las dos en paralelo con la otra enfriadora condensada por aire, permite cubrir averías de cualquiera de estos elementos productores de energía térmica de la instalación.

Desde las enfriadoras se genera el agua fría, generalmente con una temperatura de impulsión de 7°C, para al igual que en la instalación de calefacción, alimentar los elementos terminales, fancoils y climatizadores después de ser impulsada el agua en la sala de bombas, tal y como puede verse en la Figura 3.3.

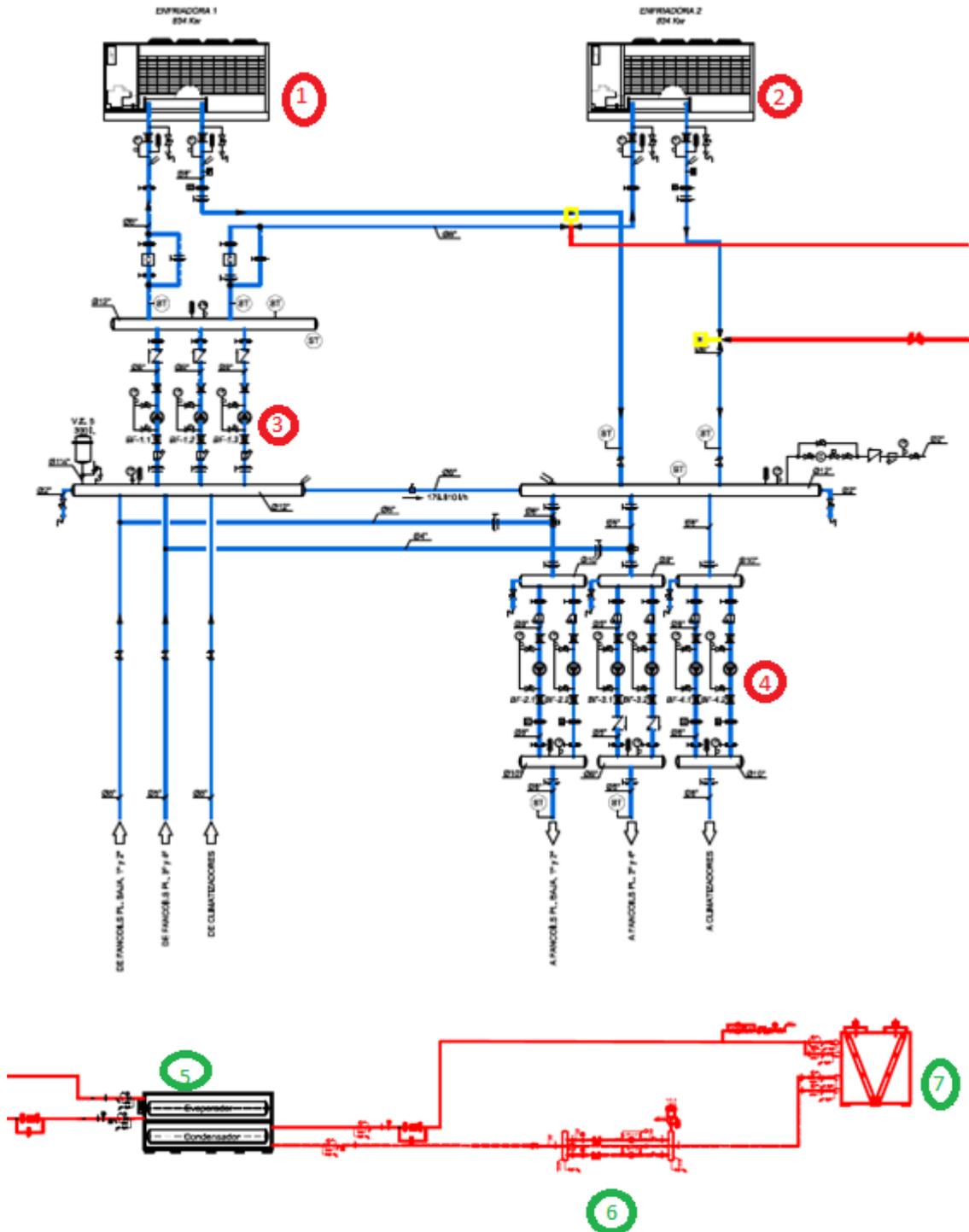


Figura 3.3.- Esquema de principio de la instalación refrigeración. Siendo 1 y 2 las enfriadoras condensadas por aire. 3 las bombas de primario. 4 las bombas de impulsión a circuitos. 5 la enfriadora condensada por agua. 6 las bombas de recirculación de secundario. y 7 el enfriador adiabático.

3.4.2 Distribución de energía en el sistema de refrigeración.

Una vez enfriado el agua a la temperatura de consigna, las bombas se encargan de enviarla a través de tuberías hasta los puntos de consumo.

Existen tres circuitos principales, los mismos que en el sistema de calefacción:

- Fancoils de Planta baja, primera y segunda.
- Fancoils de Planta tercera y cuarta.
- Climatizadores de todas las plantas.

En la Figura 3.4 y en la Figura 3.5 se pueden ver las representaciones esquemáticas de la sala de bombas desde donde se impulsa el agua a los elementos terminales.

Hay que indicar que las bombas de la parte inferior corresponden a la impulsión de frío, y las de la parte superior a la impulsión de calor.

El esquema de esta instalación es análogo a la de calefacción, ya que una vez que el agua es enfriada a la temperatura de consigna es distribuida primero en horizontal por la planta sótano, y posteriormente en vertical hasta llegar a cada uno de los núcleos donde se encuentran los elementos terminales (fancoils o climatizadores).

Al igual que en la instalación de calefacción la distribución en vertical se realiza por tres ubicaciones diferentes, Figura 3.6. también por dentro de patinillos de instalaciones preparados al efecto y separados de las zonas habitables y los elementos terminales son los mismos, solo que el agua de refrigeración va por una red de tuberías paralelas a las de calefacción, con las que nunca se mezcla.

Hay que decir que refrigerar el aire, implica disminuir la cantidad de agua que puede contener el mismo, produciéndose por lo tanto una condensación de agua, que es preciso dirigir a alguna red de saneamiento.

3.5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA.

Todo lo indicado en este apartado se aplica por igual a la red de calefacción y de refrigeración.

La vista en planta de la sala de máquinas donde se ubican las calderas y las bombas se puede ver en la Figura 3.4.

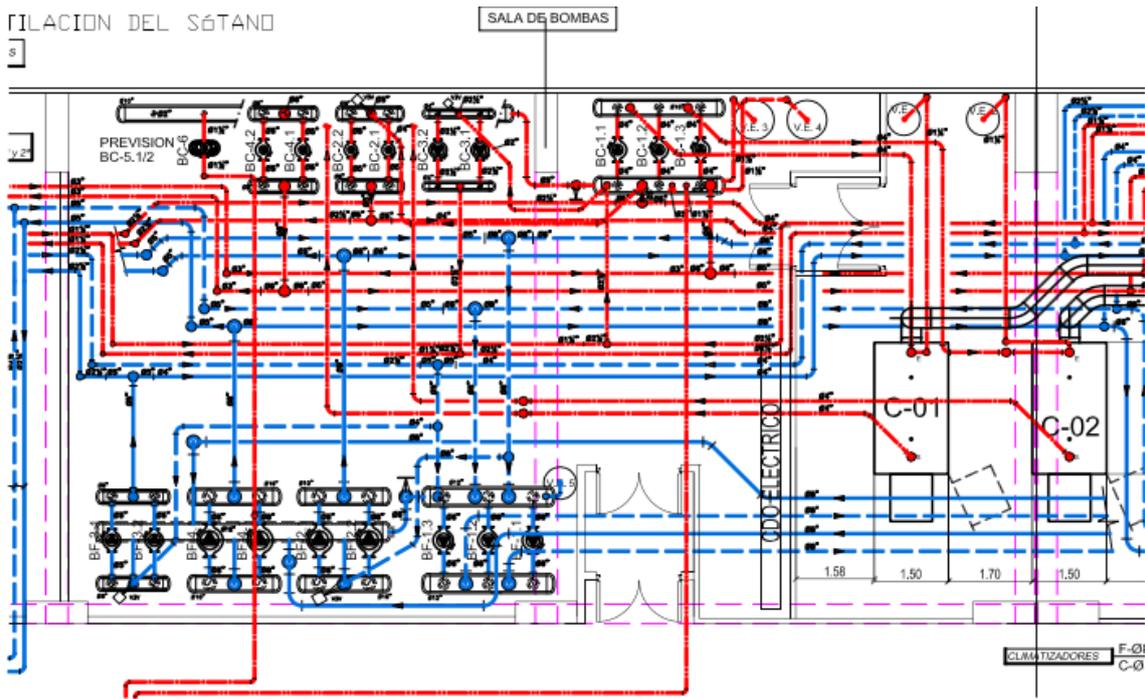


Figura 3.4.- Vista en planta de la instalación de la sala de calderas y bombas.

En la Figura 3.5 se puede ver un esquema de la vista en planta de los elementos que componen la sala de bombas y de calderas.

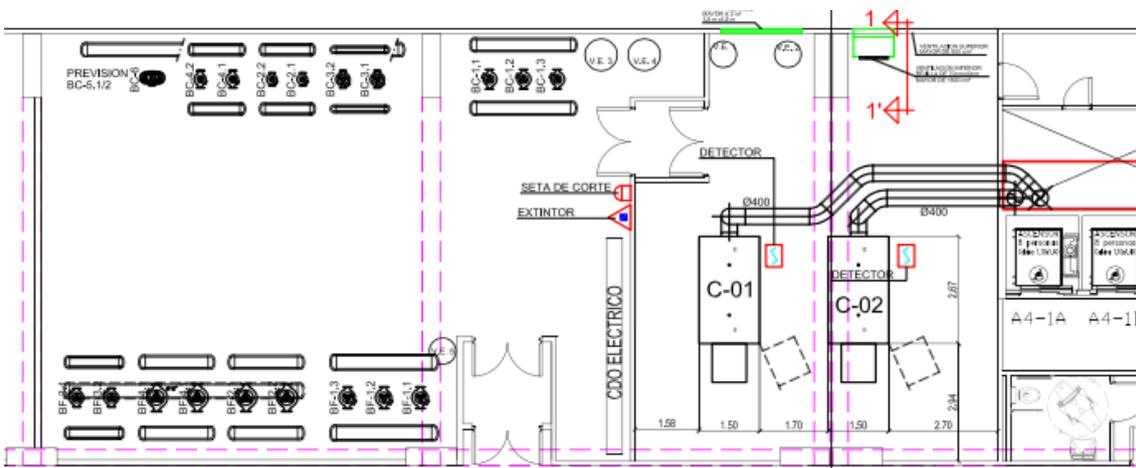
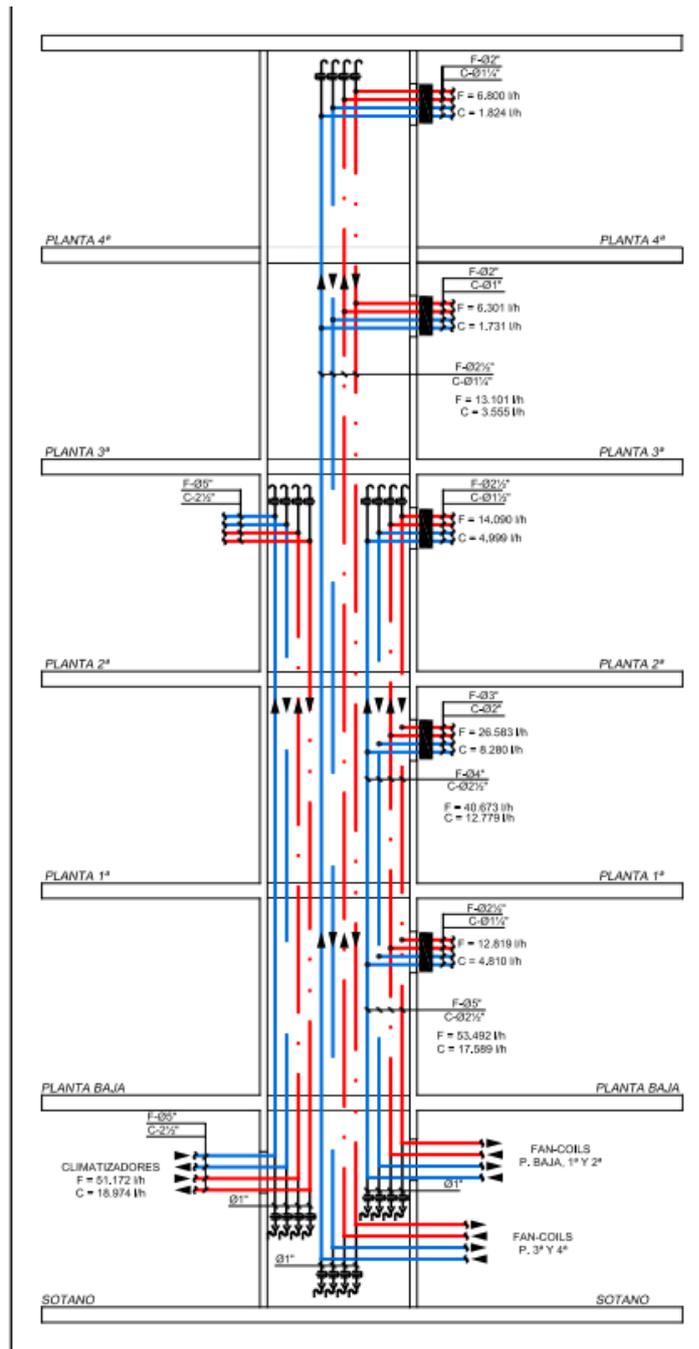


Figura 3.5.- Vista en planta de los elementos de la sala de calderas y bombas.

Una vez que el agua es calentada hasta la temperatura de consigna de la instalación de calefacción (70°C - 80°C), esta es distribuida hasta los elementos terminales (fancoils o climatizadores).

Estas distribuciones en vertical se realizan por tres ubicaciones diferentes siempre dentro de patinillos de instalaciones, Figura 3.6. preparados al efecto, separados de las zonas habitables para evitar accidentes, y mantener la condición estética del edificio.



PATINILLO A

Figura 3.6.- Ejemplo de distribución en vertical de tuberías a través de un patinillo de instalaciones.

Una vez que las tuberías se encuentran en la planta donde se encuentran los fancoils o climatizadores, se procede a realizar una instalación en horizontal, hasta llegar a los equipos.

3.5.1 Elementos terminales

Los elementos terminales son comunes a la instalación de calefacción y de refrigeración, los cuales pueden ser fancoils y climatizadores que se encargan de realizar el intercambio térmico agua-aire, para propulsar el aire climatizado hasta las

estancias a climatizar, realizando un control y regulación de la temperatura, o en su caso, de la humedad relativa.

3.5.1.1 Fancoils

Son los equipos encargados de la climatización de despachos. y se pueden considerar como un “mini” climatizador, El esquema es el siguiente:

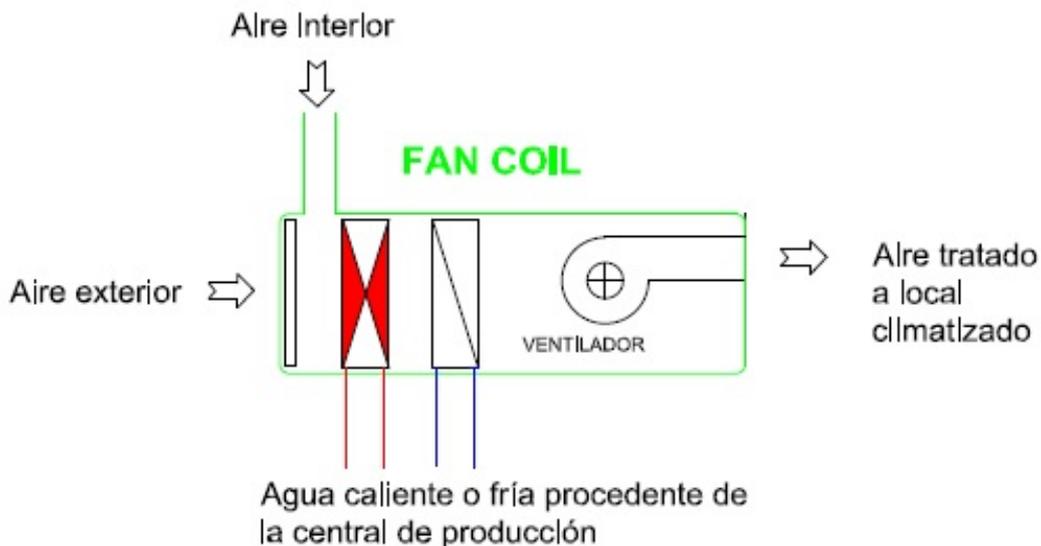


Figura 3.7.- Esquema de principio de un fancoil

En la Figura 3.7 se puede ver el esquema de principio de un fancoil, el cual consiste en una sección de filtros, dos baterías de intercambio agua-aire, una toma de aire de retorno interior, una toma de aire exterior pretratado desde los climatizadores de aire primario, y un ventilador que es el que se encarga de impulsar el aire tratado a la sala a climatizar.

En el caso concreto del edificio objeto de estudio se pueden encontrar un total de 226 fancoils de diferentes potencias y configuraciones entre las que destacan 4 modelos de baja silueta, y 5 modelos de gran potencia.

3.5.1.2 Climatizadores.

Un climatizador es igual que un fancoil, pero para mayores caudales, y con más posibilidades de configuración, ya que dispone de la posibilidad de humectar o deshumectar el aire, de incluirle intercambiadores térmicos para aprovechar la energía térmica del aire expulsado de diferentes configuraciones, dispone generalmente de dos motores, impulsión y retorno, silenciadores, y dos o más baterías de intercambio.

Por ejemplo en la Figura 3.8. se puede ver un esquema de principio de un climatizador, el cual dispone entre su configuración de:

Tabla 3.4.- Configuración y partes de un climatizador.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
C	Sección de toma de aire con compuerta de regulación motorizada, velocidad máxima de paso de aire 6 m/s.
G-4	Sección de filtros con una eficacia 90%.
F-7	Sección de filtros con una eficacia 80-90%
R	Sección de batería de recuperación de calor
(+)	Sección de batería de precalentamiento.
H	Sección para humidificación.
(-)	Sección batería enfriamiento.
(+)	Batería de postcalentamiento.
V	Sección de ventilación.
S	Silenciador.
F-9	Filtros.

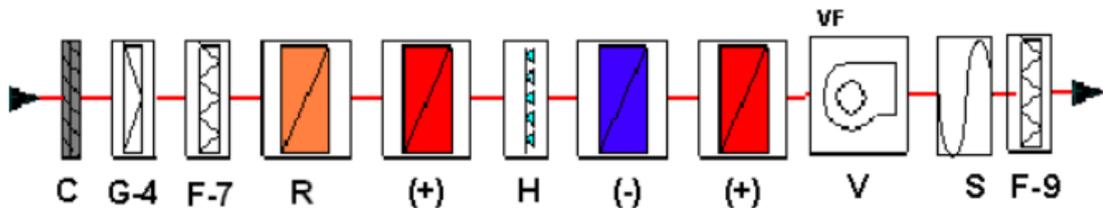


Figura 3.8.- Esquema de principio de un climatizador

En el caso concreto del edificio objeto de estudio se pueden encontrar un total de 27 climatizadores, tal y como se indica en la Tabla 3.1.

Los climatizadores pueden encontrarse en una planta del edificio y dar servicio a otra u otras tal y como se indica en la Figura 3.9.

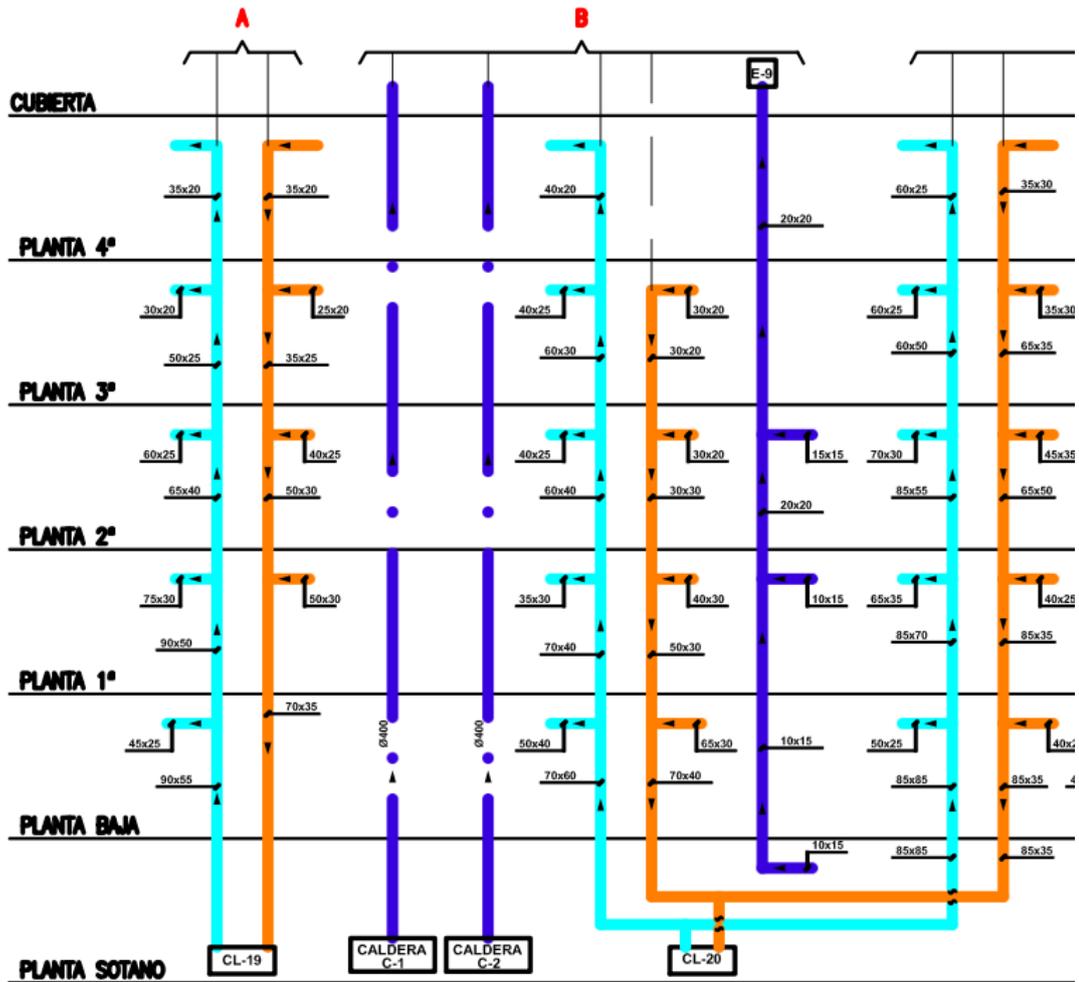


Figura 3.9.- Esquema de verticales de conductos de climatización correspondientes a las calderas y a los climatizadores 19 y 20.

3.5.2 Elementos de la instalación: Valvulería y conexionado.

En toda la descripción anterior se han obviado diferentes elementos que por su naturaleza no son determinantes en las características de la instalación, pero sí en su funcionamiento. Se trata de los elementos de conexionado o también llamados valvulería.

A continuación se procede a describir someramente cada uno de ellos, junto con las particularidades más destacadas.

3.5.2.1 Bombas

Son todas de rotor seco, esto es, su refrigeración se realiza mediante aire, lo cual favorece un aumento de la vida útil de los equipos.



Figura 3.10.- Imagen de una bomba de rotor seco. Fuente: wilo.es

A su vez la instalación de estas bombas se ha dispuesto en parejas con accesorios totalmente independientes para que puedan funcionar alternativamente de manera independiente, y para que en caso de avería una bomba pueda sustituir a la otra.

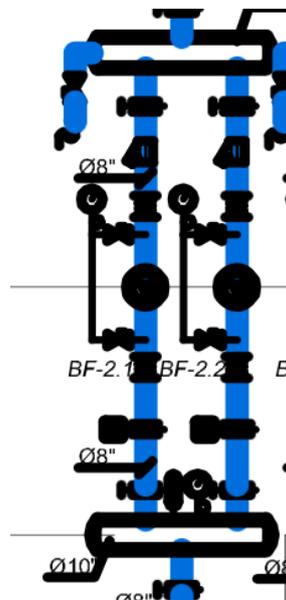


Figura 3.11.- Distribución en paralelo de bombas de impulsión.

3.5.2.2 Tuberías y aislamiento de tuberías.

Las tuberías por las que se realiza la distribución están fabricadas en acero negro y están aisladas por el exterior con una coquilla de espuma elastomérica para que la energía térmica transportada no se pierda en el transito hasta el punto de consumo.

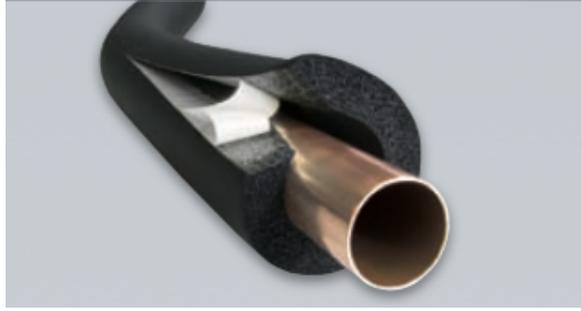


Figura 3.12.- Tubería con coquilla de aislamiento. Fuente: isover.es

3.5.2.3 *Válvulas de corte*

Los diferentes circuitos o derivaciones de los mismos se protegen con una válvula de corte que permita el aislamiento de dichas derivaciones en caso de avería.



Figura 3.13.- Fotografía válvulas de corte. Fuente: valvulasarco.com. genebre.es

Las válvulas también pueden ser de mariposa cuando su diámetro supera las 2”.

3.5.2.4 *Válvulas de retención*

Para evitar reflujos y vuelta atrás del agua de la instalación, existen válvulas de retención, las cuales disponen de una clapeta que impide la vuelta atrás del agua.



Figura 3.14.- Válvula de retención. Fuente: genebre.es

3.5.2.5 *Filtros*

Antes de cualquier elemento susceptible de que se produzca un atasco que ocasione una avería (bombas, baterías de climatizadores o fancoils), está instalado un filtro “Y”, el cual dispone de un tamiz en su parte interior por cuyo interior circula el agua, de modo

que cualquier elemento en suspensión en el circuito de diámetro superior a los agujeros del tamiz es retenido en el filtro.



Figura 3.15.- Filtro en "Y". Fuente: genebre.es

3.5.2.6 *Manguitos antivibratorios*

En la unión de cualquier elemento móvil (Bombas, o climatizadores) con las tuberías está instalado un manguito anti vibratorio formado por goma elastomérica que absorbe las vibraciones del equipo, e impide su transmisión al resto de la instalación.



Figura 3.16.- Manguito anti vibratorio. Fuente: genebre.es

3.5.2.7 *Válvulas de equilibrado dinámico*

En cada derivación de circuito, o bien en la entrada de cada elemento terminal (fancoil o climatizador), está instalada una válvula de equilibrado dinámico.

Esta válvula permite mediante la medida de la presión en dos terminales, el cálculo del caudal que circula por ella, permitiendo ajustar dicho caudal a los requerimientos de la instalación.



Figura 3.17.- Válvula de equilibrado dinámico. Fuente: imi-hydronic.com

3.6 SIMULACIÓN ENERGÉTICA. USO DEL PROGRAMA CE3.

Fue necesario realizar la calificación energética del edificio tal y como se establece en el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Para dicha certificación energética se utilizó uno de los programas de certificación permitidos por el Ministerio de Industria y Energía, el CE3. Se trata de un programa de simulación que permite, una vez introducidos todos los parámetros del edificio, comparar su consumo energético con un edificio “patrón” de la misma zona climática, y comparar su consumo energético para establecer así una clasificación energética.

El programa permite utilizar procedimientos simplificados en caso de que se trate de viviendas, o de edificios terciarios de pequeño tamaño, pero en caso de que se tenga que simular un edificio como el que es objeto de estudio, hay que recurrir al procedimiento general.

3.6.1 Datos necesarios para realizar la simulación

Los parámetros que son necesarios introducir para poder simular el edificio son los siguientes:

1. Ubicación: Se define la zona climática en la que está situado el edificio, así como su referencia catastral. (También puede definirse la orientación). Ver Figura 3.18.
2. Definición constructiva: Permite introducir diferentes configuraciones de elementos constructivos creados por el usuario, o bien recurrir a unas configuraciones ya creadas y que pueden modificarse.
 - a. Fachadas. Figura 3.19.
 - b. Cubiertas. Figura 3.20.
 - c. Particiones interiores. Figura 3.22.
 - d. Medianeras. Figura 3.22.
 - e. Suelos. Figura 3.23.
 - f. Cerramientos en contacto con el terreno.
 - g. Huecos (ventanas)Figura 3.24.
3. Definición geométrica: Es en este apartado cuando hay que definir la geometría de cada zona con las mismas características de climatización en el edificio. Hay que definir todos los planos en planta, y posteriormente, relacionar cada pared, techo, suelo, hueco, partición interior o medianera del edificio con las definiciones constructivas anteriores, Figura 3.25, Figura 3.26, Figura 3.27 y Figura 3.28.
4. Definición de sombras: En este apartado hace falta definir todos los elementos que puedan hacer sombra con el edificio. Para ello será necesario calcular la altura solar de los obstáculos (otros edificios), con el acimut solar, para así crear un gráfico que los relacione. Figura 3.29.

5. Definición operacional: En este punto se define para cada una de las estancias creadas en la definición geométrica:
 - a. Cargas internas: en todas ellas será necesario definir los horarios de uso. Figura 3.30 y Figura 3.31.
 - i. Ocupación.
 1. Descripción.
 2. Horario.
 3. Número de personas.
 4. Ocupación en m^2 /persona.
 - ii. Iluminación.
 1. Tipo de iluminación.
 2. Horario.
 3. Potencia eléctrica.
 4. Potencia $/m^2$.
 - iii. Equipos (ordenadores. u otras máquinas).
 1. Descripción.
 2. Horario.
 3. Potencia eléctrica.
 4. Potencia $/m^2$.
 - b. Ventilación mecánica.
 - i. Potencia.
 - ii. Factor de fricción.
 - c. Equipos de acondicionamiento.
 - i. Tipo de espacio (acondicionado o no).
 - ii. Temperatura de consigna máxima.
 - iii. Temperatura de consigna mínima.
 - iv. Horario de funcionamiento del equipo.
6. Definición de sistemas de acondicionamiento: En este punto se definen los equipos de climatización, desde los sistemas de generación de energía (sistemas primarios), equipos secundarios (elementos terminales), la relación entre ambos, y los sistemas de iluminación, Figura 3.32 y Figura 3.33.
 - a. Primarios: aquí se definen las características de calderas, enfriadoras, sistema de bombeo, etc.
 - b. Secundarios: en este punto se definen los elementos terminales con las características de cada estancia climatizada.
 - c. Asociación primarios y secundarios: aquí se relacionan los diferentes grupos de sistemas primarios con los secundarios.
 - d. Sistemas de iluminación, Figura 3.34: Se define el sistema de iluminación para cada zona climatizada, definiendo:
 - i. Iluminación media en lux.
 - ii. El valor de eficiencia energética de la instalación de referencia.

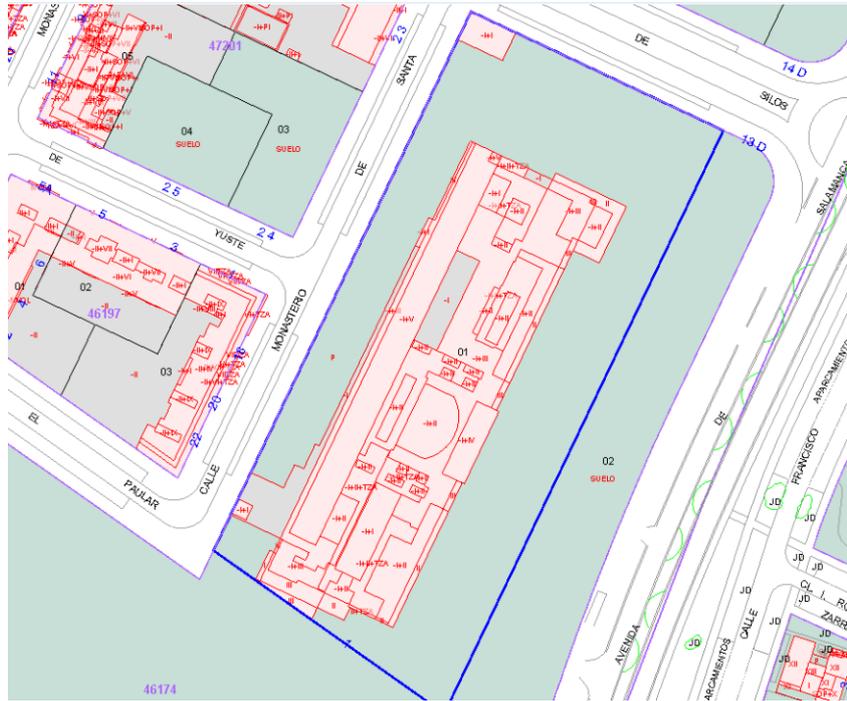


Figura 3.18.- Plano catastral del edificio. Fuente: catastro.meh.es

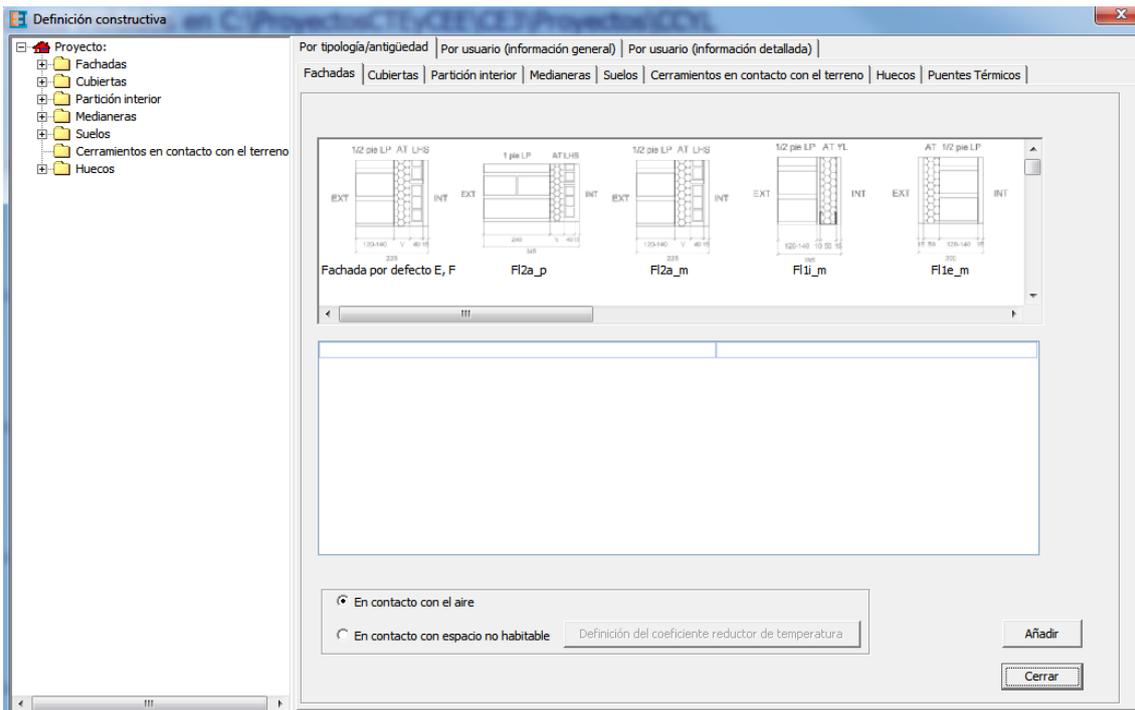


Figura 3.19.- Definición de fachadas en CE3

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

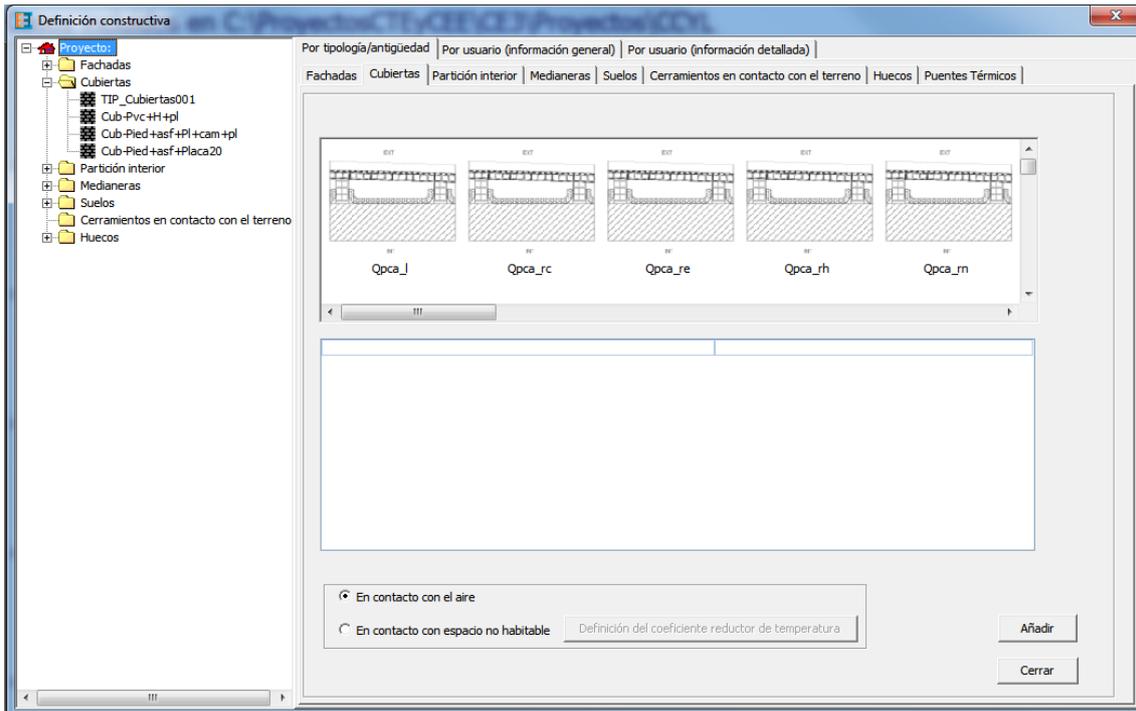


Figura 3.20.- Definición de cubiertas en CE3

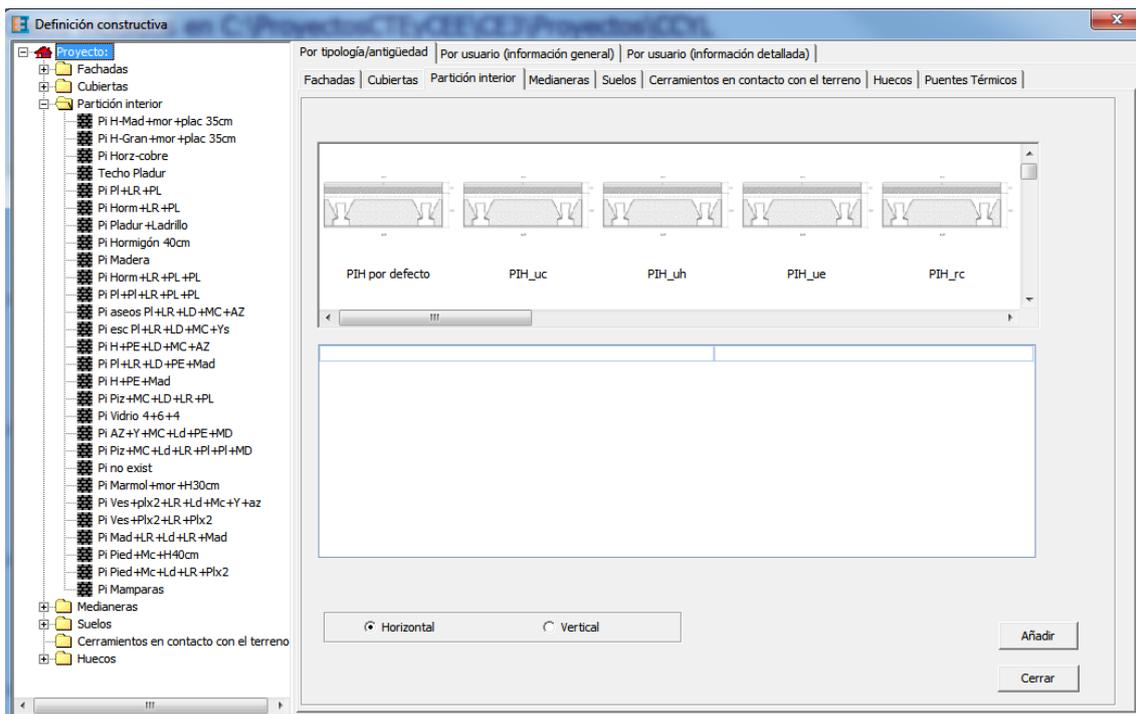


Figura 3.21.- Definición de particiones interiores en CE3

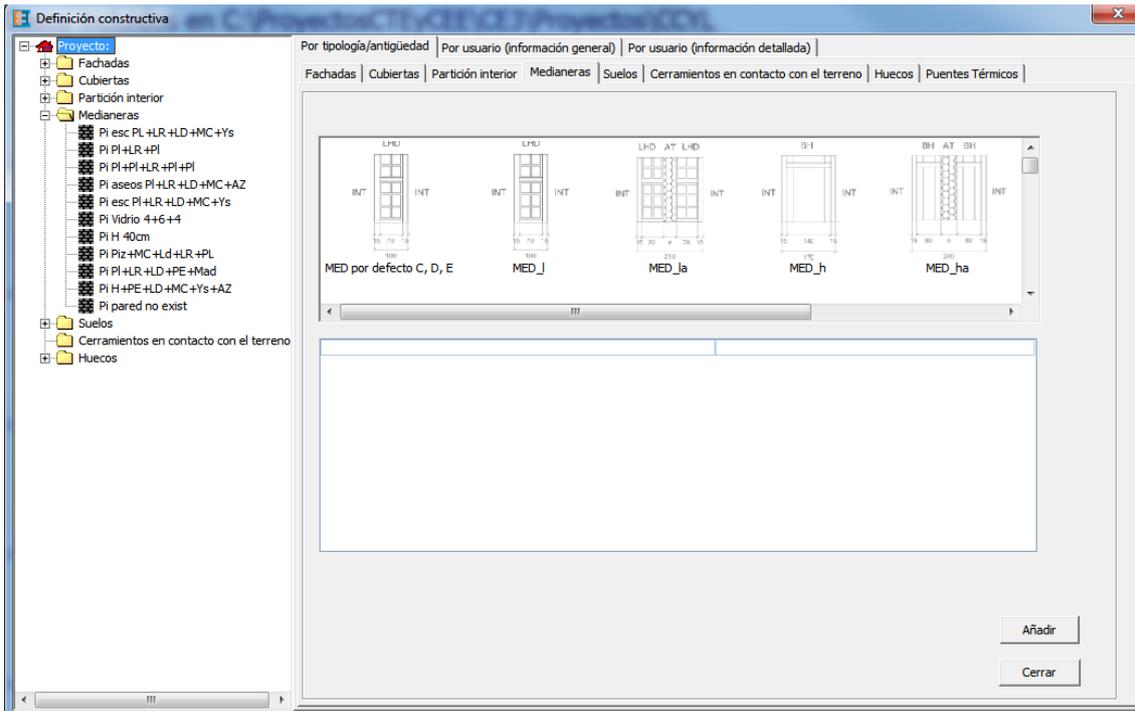


Figura 3.22.- Definición de medianeras en CE3

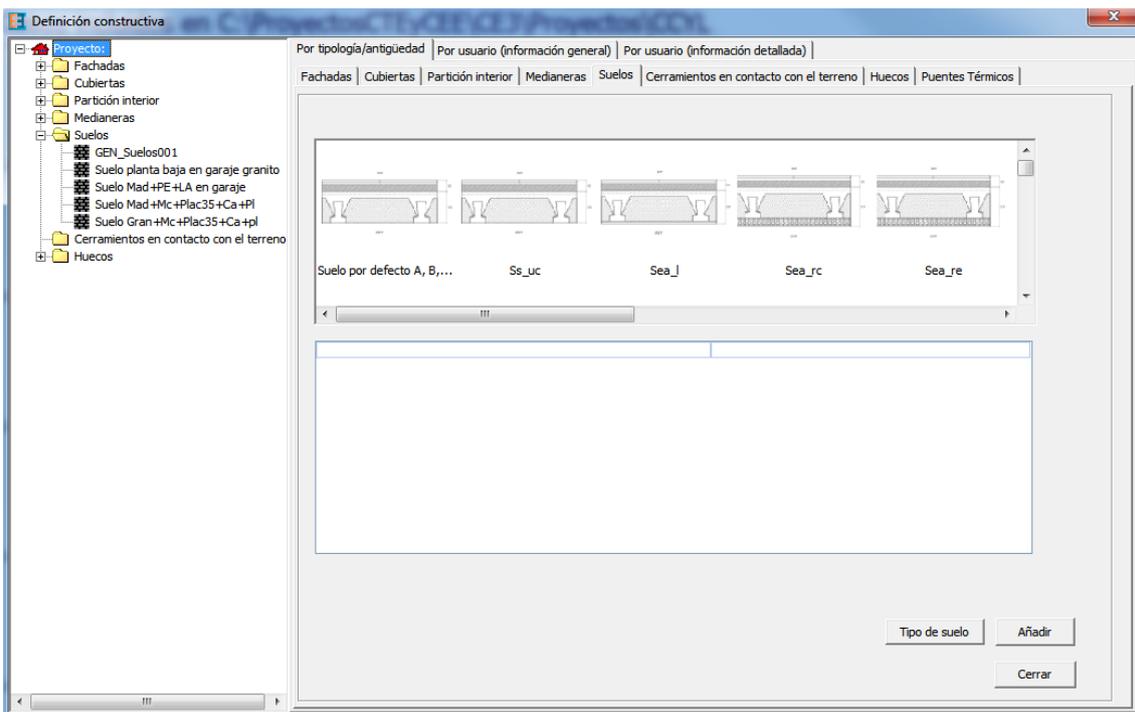


Figura 3.23.- Definición de suelos en CE3

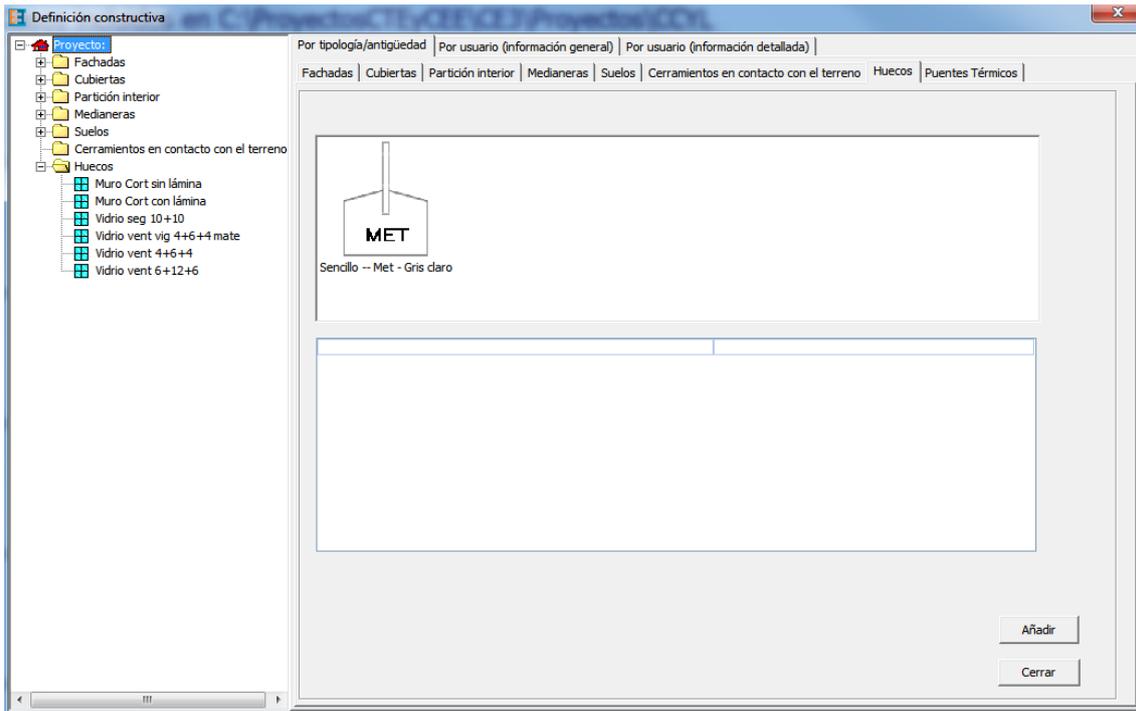


Figura 3.24.- Definición de huecos en CE3

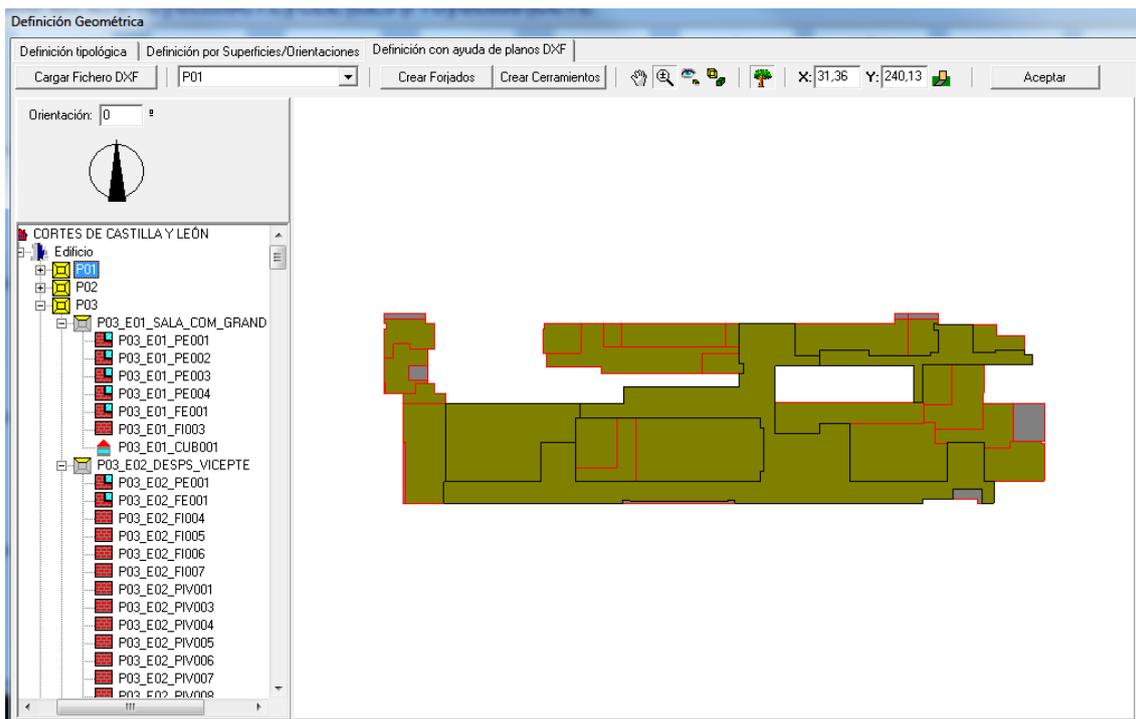


Figura 3.25.- Definición geométrica de planta baja

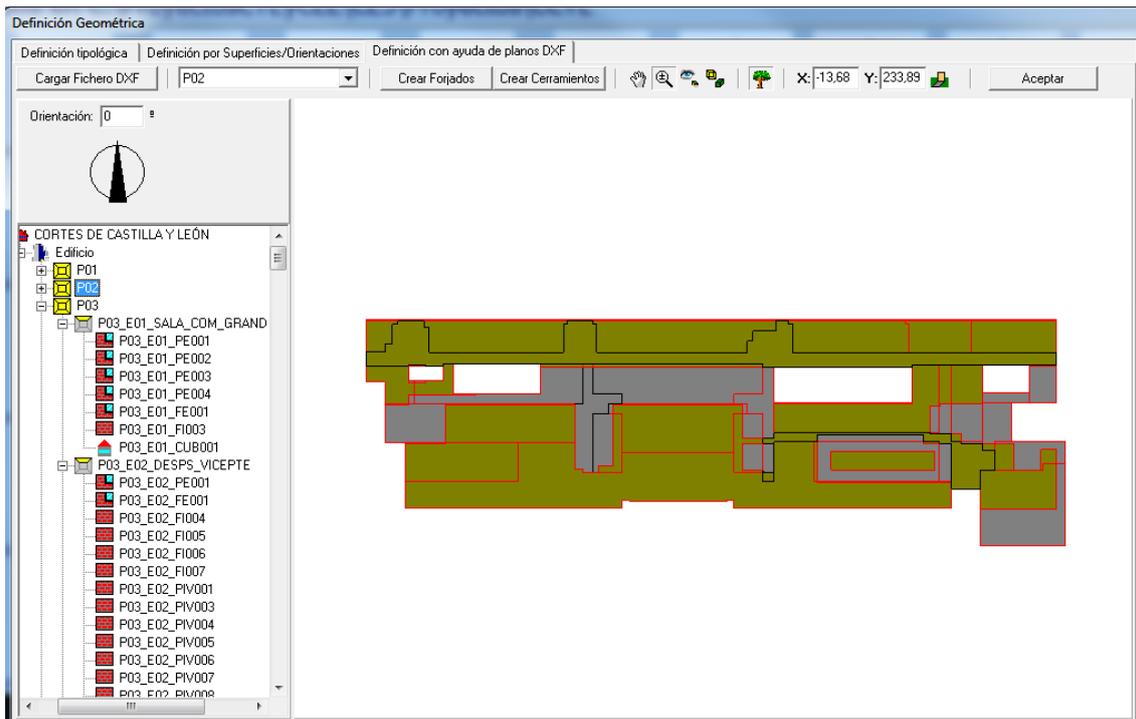


Figura 3.26.- Definición geométrica de planta primera

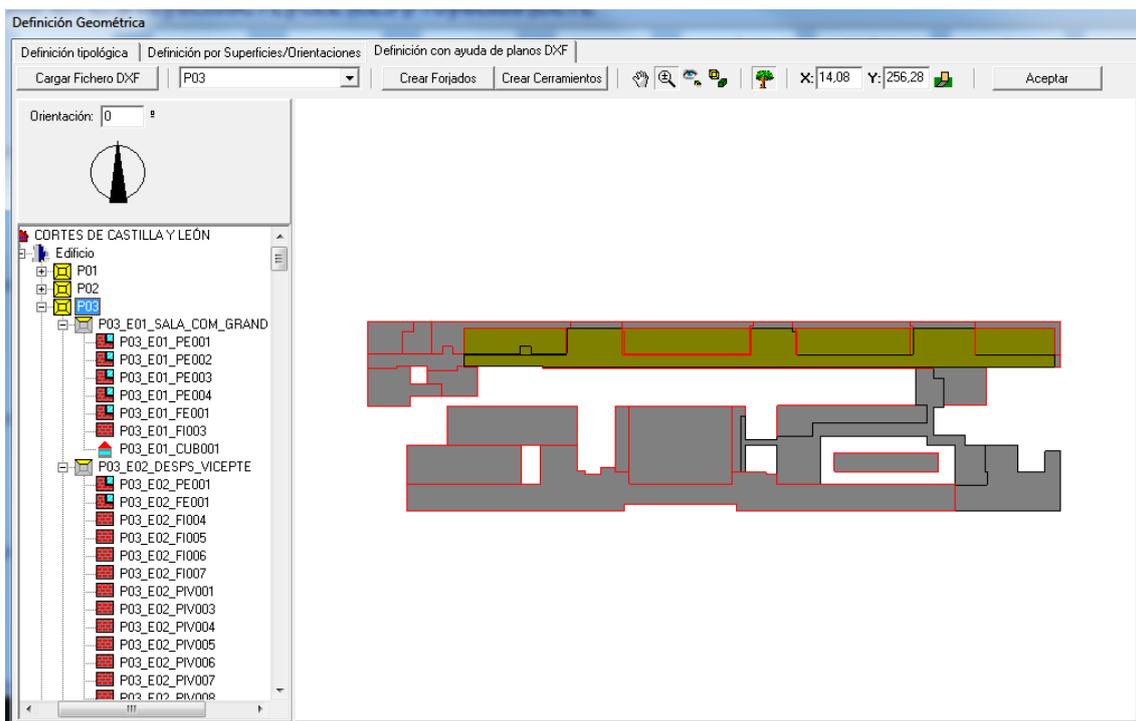


Figura 3.27.- Definición geométrica de planta segunda

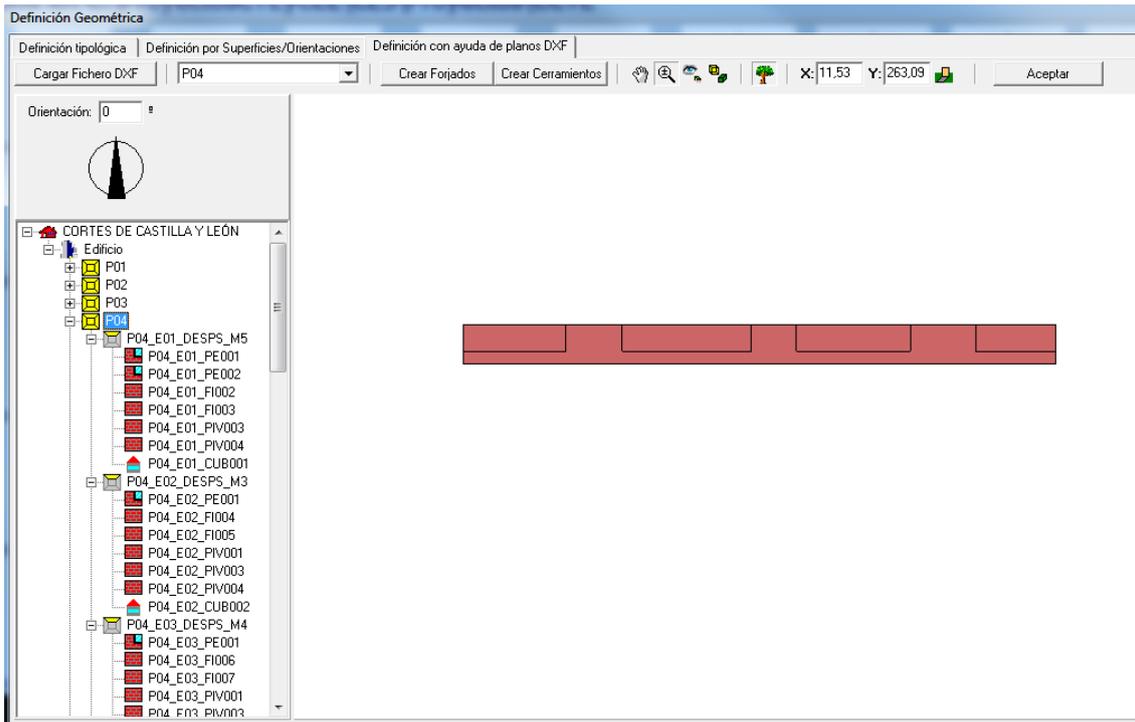


Figura 3.28.- Definición geométrica de plantas tercera y cuarta

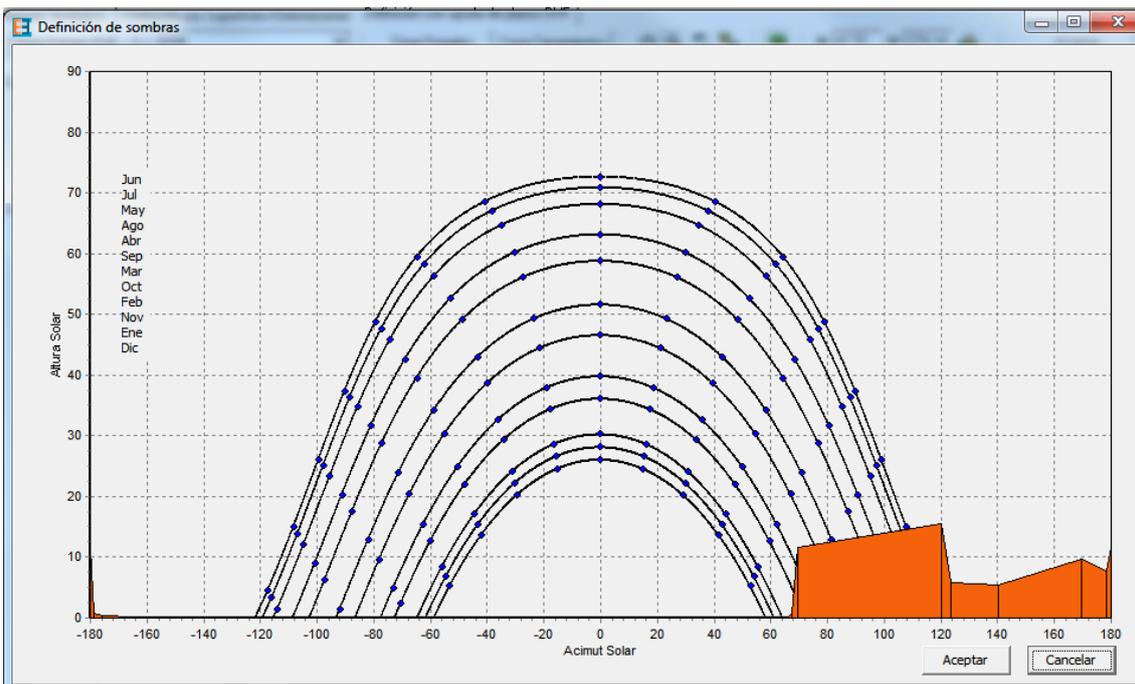


Figura 3.29.- Definición de sombras del edificio

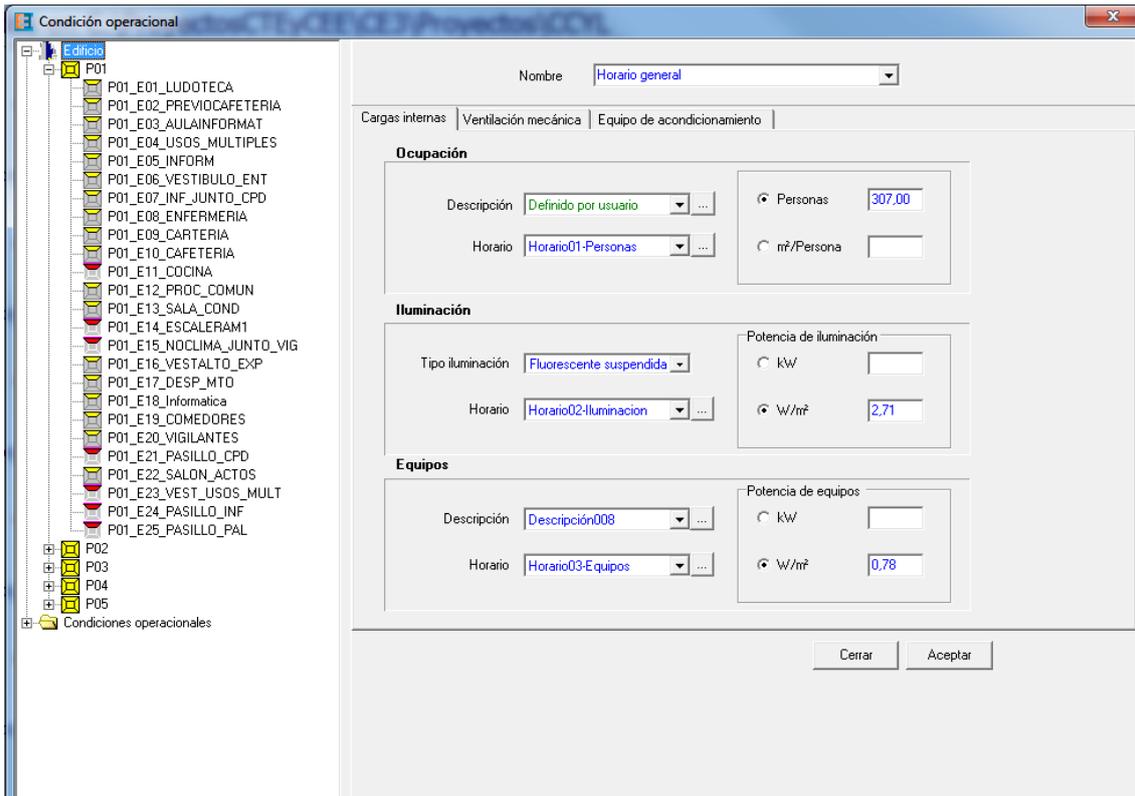


Figura 3.30.- Condiciones operacionales de cargas internas. ventilación mecánica y equipos de acondicionamiento.

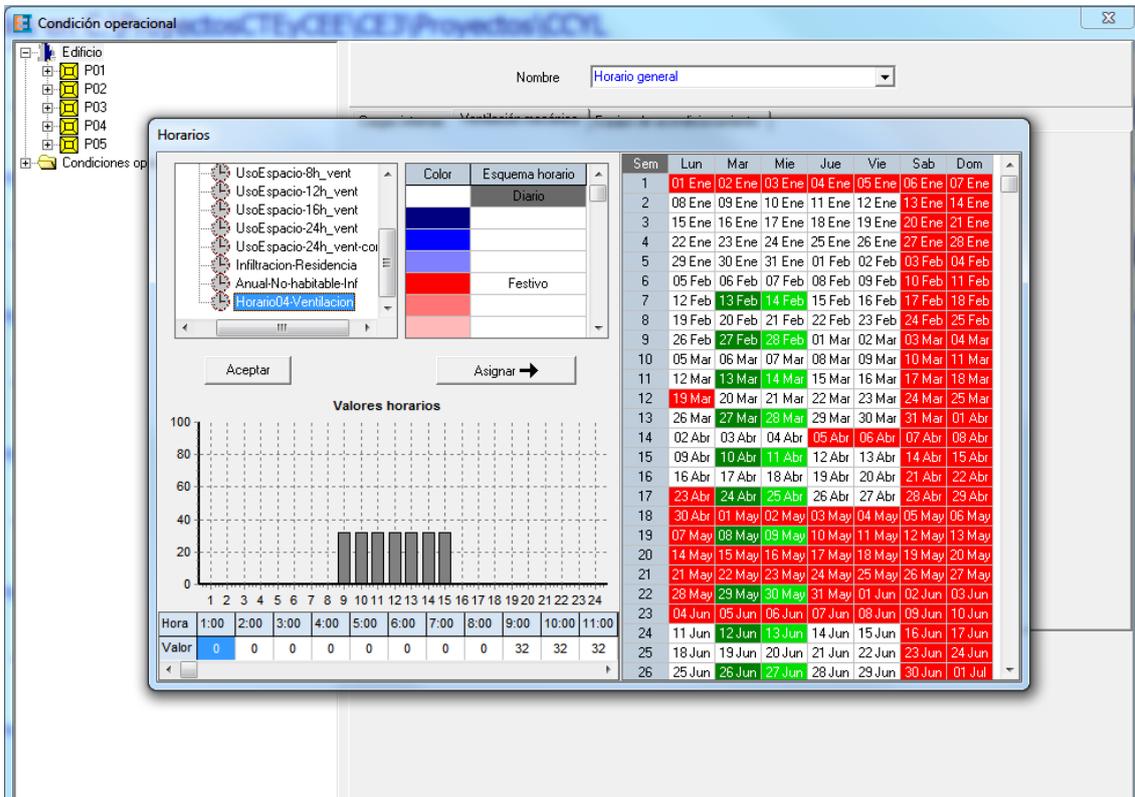


Figura 3.31.- Definición de horarios de funcionamiento

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

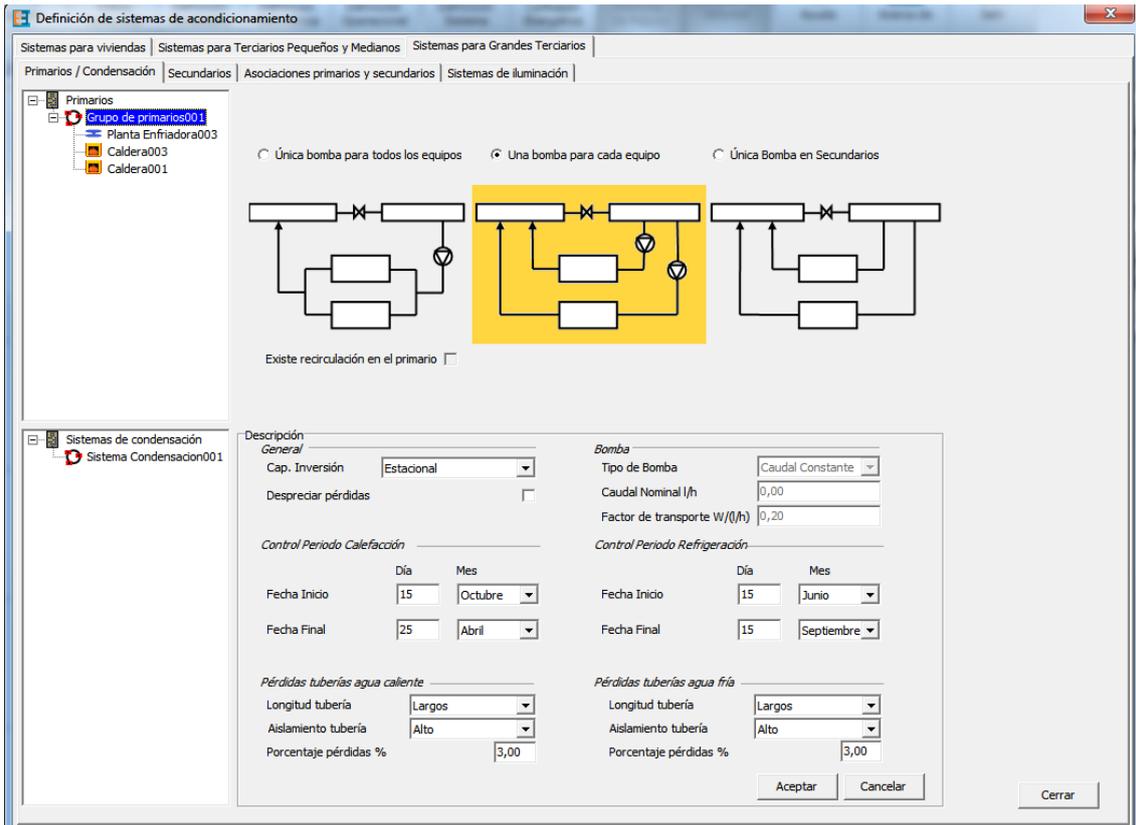


Figura 3.32.- Definición de Sistemas primarios

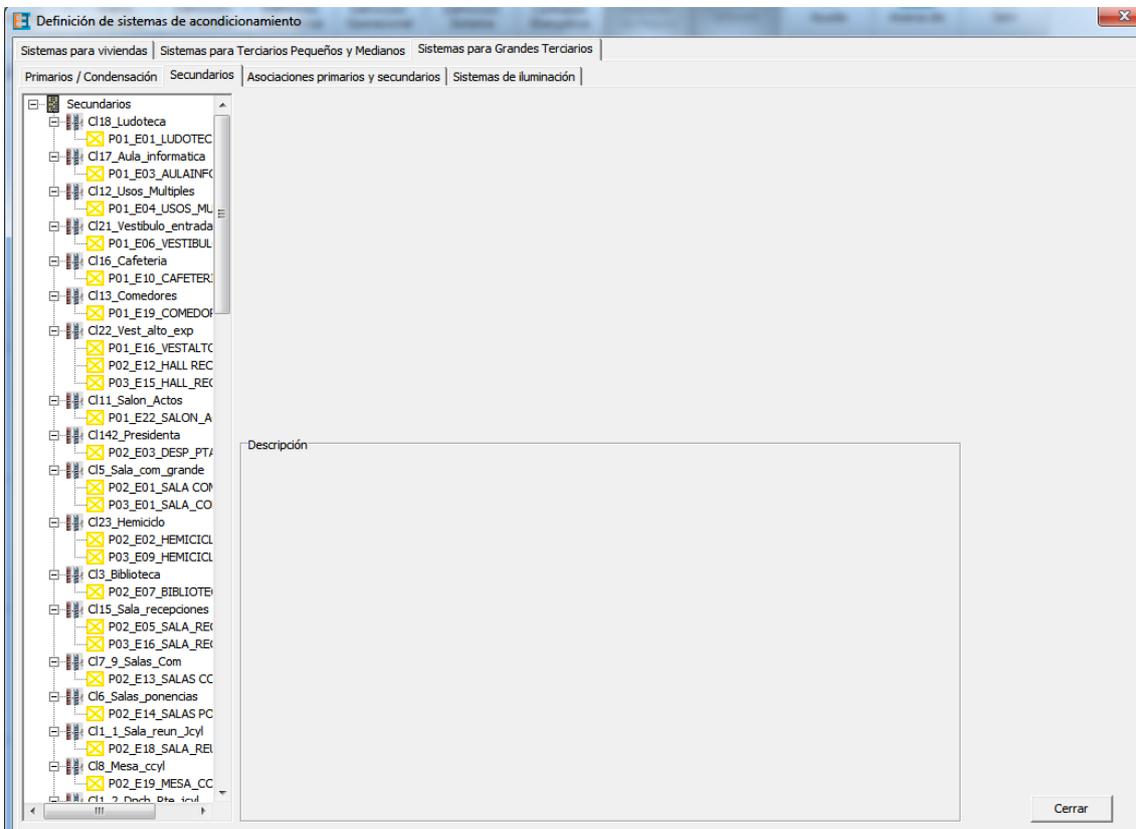


Figura 3.33.- Definición sistemas secundarios

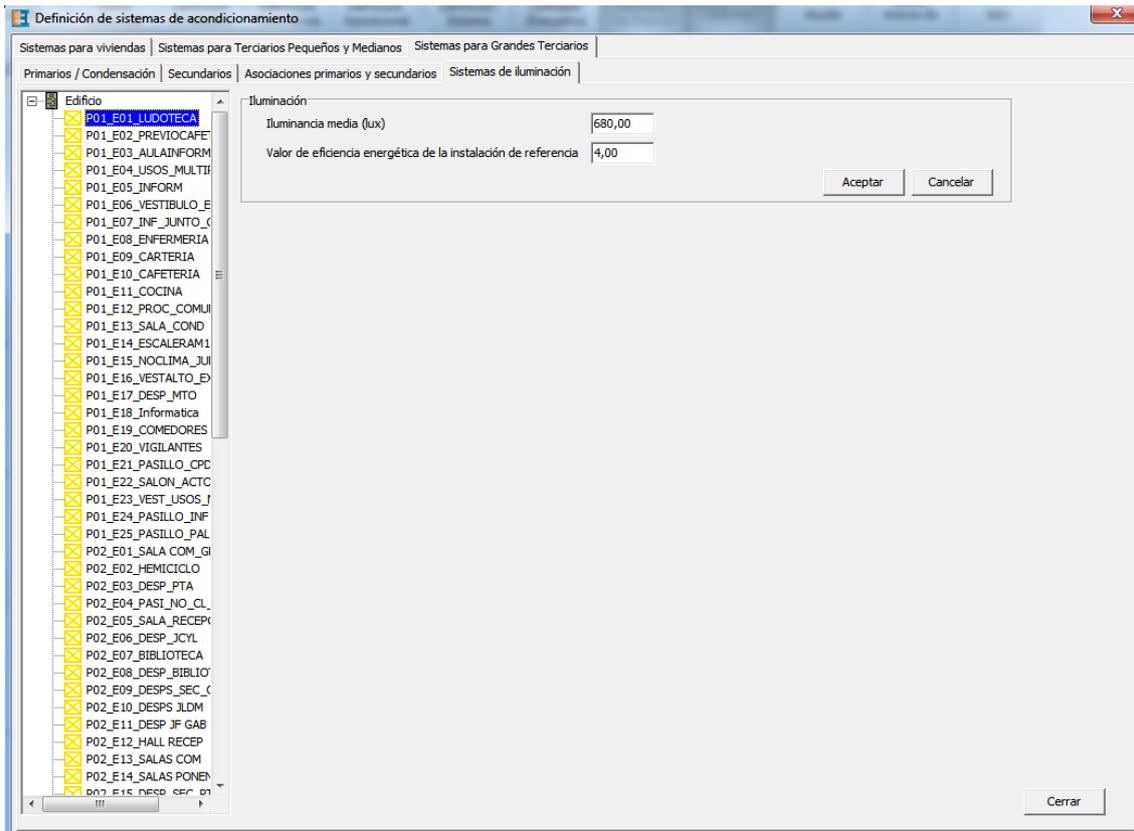


Figura 3.34.- Definición de sistemas de iluminación

3.6.2 Simulación: Resultados.

Una vez introducidos todos los datos para definir el edificio y su uso, tal y como se ha señalado en el apartado anterior, el programa da como resultado un informe en el que se señalan diferentes características energéticas entre ellas:

1. Características térmicas de la envolvente térmica. Tabla 3.5.
2. Características de las instalaciones térmicas. Tabla 3.6.
3. Características de la instalación de iluminación. Tabla 3.7.
4. Condiciones de funcionamiento y ocupación. Tabla 3.8.
5. Medidas de mejora propuestas.
6. Calificación del consumo de energía primaria. Tabla 3.9.
7. Calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración. Tabla 3.9.
8. Emisiones debidas a iluminación. Tabla 3.10.
9. Emisiones debidas a refrigeración. Tabla 3.10.
10. Emisiones debidas a Agua Caliente Sanitaria (ACS). Tabla 3.10.
11. Emisiones debidas a calefacción. Tabla 3.10.
12. Emisiones de dióxido de carbono globales. Figura 3.35.
13. Calificación energética global. Figura 3.35.

Tabla 3.5.- Características térmicas de la envolvente. Resultado CE3

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Modo de obtención
PIH por defecto	Partición interior horizontal	2240,82	1,60	librería CE3
Pi PI+LR+PL	Partición interior vertical	43,92	0,67	Definido por usuario
Pi Horm+LR+PL	Partición interior vertical	49,67	0,69	Definido por usuario
Pi Hormigón 40cm	Partición interior vertical	138,47	2,30	Definido por usuario
Suelo planta baja en garaje granito	Suelos	5593,26	0,49	Definido por usuario
Pi Horm+LR+PL+PL	Partición interior vertical	29,42	0,53	Definido por usuario
Pi PI+PI+LR+PL+PL	Partición interior vertical	1938,94	1,18	Definido por usuario
Fach aire+H+LR+PI+PI	Fachadas	1276,06	0,56	Definido por usuario
Pi aseos PI+LR+LD+MC+AZ	Partición interior vertical	154,74	0,53	Definido por usuario
Pi esc PI+LR+LD+MC+Ys	Partición interior vertical	1038,54	0,51	Definido por usuario
Fach aire+H	Fachadas	847,29	1,40	Definido por usuario
Fach aire+Al muro cort	Fachadas	325,79	1,40	Definido por usuario
Pi H+PE+LD+MC+AZ	Partición interior vertical	26,13	0,71	Definido por usuario
Pi PI+LR+LD+PE+Mad	Partición interior vertical	706,97	0,36	Definido por usuario
Pi H+PE+Mad	Partición interior vertical	219,25	0,82	Definido por usuario
Pi Piz+MC+LD+LR+PL	Partición interior vertical	46,16	0,52	Definido por usuario
Suelo Mad+PE+LA en garaje	Suelos	480,99	0,51	Definido por usuario
Pi esc PL+LR+LD+MC+Ys	Medianeras	6,66	0,50	Definido por usuario
Pi PI+PI+LR+PI+PI	Medianeras	96,68	0,32	Definido por usuario
Pi aseos PI+LR+LD+MC+AZ	Medianeras	28,01	0,52	Definido por usuario
Pi Vidrio 4+6+4	Partición interior vertical	136,39	2,00	Definido por usuario
Pi Vidrio 4+6+4	Medianeras	29,42	2,00	Definido por usuario
Pi H 40cm	Medianeras	27,70	2,30	Definido por usuario
Pi AZ+Y+MC+Ld+PE+MD	Partición interior vertical	83,42	0,43	Definido por usuario
Pi Piz+MC+Ld+LR+PI+PI+MD	Partición interior vertical	156,87	0,47	Definido por usuario

Tabla 3.6.- Características de las instalaciones térmicas. Resultado CE3

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento [%]	Tipo energía	Modo de obtención.
Caldera003	Caldera Convencional	1046,00	0,98	Gas Natural	Definido por el usuario
Caldera001	Caldera Convencional	1046,00	0,98	Gas Natural	Definido por el usuario

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento [%]	Tipo energía	Modo de obtención.
Planta Enfriadora003	Enfriadora	865	Ele. = 5,96 Ter. = 1,00	Electricidad	Definido por el usuario

Nombre	CI21_Vestibulo_entrada				
Tipo	UTA completa				
Zona asociada	P01_E06_VESTIBULO_ENT				
Potencia calor [kW]	Potencia frío [kW]	Rendimiento calor [%]	Rendimiento frío [%]		
38,99	38,99	-	-		
Enfriamiento evaporativo	Recuperación de energía	Enfriamiento gratuito	Control		
No	No	Sí	Entalpía		

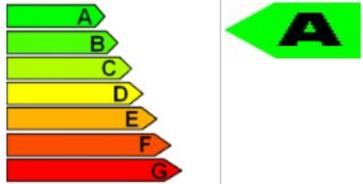
Tabla 3.7.- Características de la instalación de iluminación. Resultado CE3

Nombre del espacio	Potencia instalada [W/m ²]	VEEI [W/m ² ·100lux]	Iluminancia media [lux]
P01_E01_LUDOTECA	2,71	0,40	680,00
P01_E02_PREVIOCAFETERIA	2,71	0,68	400,00
P01_E03_AULAINFORMAT	2,71	0,48	560,00
P01_E04_USOS_MULTIPLES	2,71	1,04	260,00
P01_E05_INFORM	2,71	0,45	600,00

Tabla 3.8.- Condiciones de funcionamiento y ocupación. Resultado CE3

Espacio	Superficie [m ²]	Perfil de uso
P01_E04	134,75	Horario general
P01_E05	161,75	Horario general
P01_E06	265,94	Horario general
P01_E07	21,86	Horario general
P01_E08	51,89	Horario general
P01_E09	68,60	Horario general

Tabla 3.9.- Calificación parcial del consumo de energía primaria. Resultado CE3

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	0,69 C	0,00 A
Consumo global de energía primaria [kWh/m ² •año]	Energía primaria calefacción [kWh/m ² •año]	Energía primaria ACS [kWh/m ² •año]
	16,75	0,00
	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	0,27 A	0,14 A
	Energía primaria refrigeración [kWh/m ² •año]	Energía primaria iluminación [kWh/m ² •año]
33,43	4,66	12,02

En la Tabla 3.9 se puede ver un resumen de los indicadores parciales de la demanda de cada una de las instalaciones del edificio por unidad de superficie y año, siendo mucho más eficiente la instalación de refrigeración que la de calefacción.

Tabla 3.10.- Indicadores parciales de emisiones. Resultado CE3

INDICADORES PARCIALES	
CALEFACCIÓN	ACS
0,57 B	0,00 A
Emissiones calefacción [kgCO ₂ /m ² •año]	Emissiones ACS [kgCO ₂ /m ² •año]
3,69	0,00
REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
0,27 A	0,14 A
Emissiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² •año]	Emissiones iluminación [kgCO ₂ /m ² •año]
1,16	2,99

En la Tabla 3.10 se puede ver un resumen de los indicadores parciales del edificio en el que se pueden ver las emisiones por unidad de superficie y durante un año de cada una de las instalaciones del edificio así como su calificación energética.

De modo que la cantidad de CO₂ que emite la instalación de calefacción por unidad de superficie al año es superior a la que emite la instalación de refrigeración, y por lo tanto es menos eficiente.

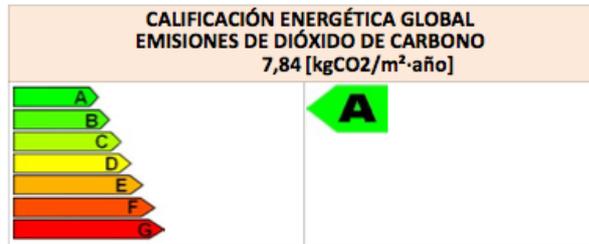


Figura 3.35.- Calificación energética global. Resultado CE3

La Figura 3.35 indica la cantidad de gases de efecto invernadero que produce el edificio por m² al año.

De los resultados emitidos por el programa de simulación y certificación energética y con el valor de la superficie habitable que asciende a 22 415.81 m² se pueden obtener los siguientes valores totales anuales:

Tabla 3.11.- Valores totales del edificio anuales.

Concepto	Valor / Superficie	Valor Total Anual
Energía primaria Calefacción	16.75 kWh/m ² año	375,464.82 kWh
Energía primaria Refrigeración	4.66 kWh/ m ² año	104,457.67 kWh
Energía primaria Iluminación	12.02 kWh/ m ² año	269,438.04 kWh
Emisiones Calefacción	3.69 kg CO ₂ / m ² año	82.7 tons CO ₂
Emisiones Refrigeración	1.16 kg CO ₂ / m ² año	26 tons CO ₂
Emisiones Iluminación	2.99 kg CO ₂ / m ² año	67.03 tons CO ₂
Emisiones Totales	7.84 kg CO ₂ / m ² año	175.8 tons CO ₂

CAPÍTULO 4: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. INTRODUCCIÓN

El sistema de gestión tanto de toda la instalación de climatización, como de la gestión del alumbrado es de la marca Siemens, y su función es realizar el control sobre las instalaciones del edificio.

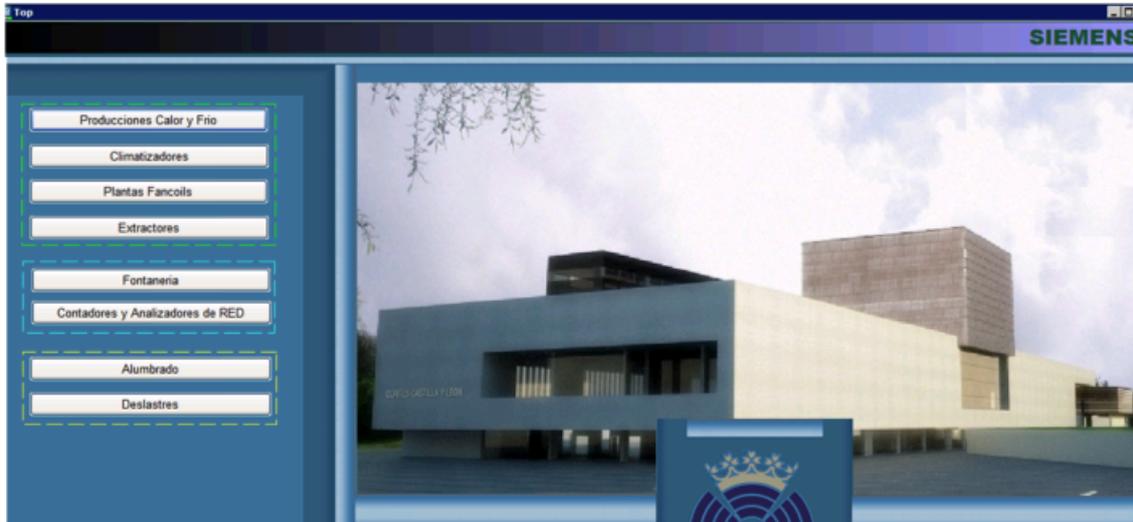


Figura 4.1.- Imagen del sistema de gestión del edificio

Dicho sistema consiste en un hardware formado por equipos captadores, equipos actuadores, controladores y relés, todo ello controlado por un software.

El hardware está formado por un controlador central del cual cuelgan varios controladores esclavos unidos mediante un bus de comunicaciones.

El software es un programa residente en un servidor informático, al cual se accede desde una consola remota, de modo que se actúa sobre dicho software sin necesidad de tenerlo residente en el ordenador desde el cual se accede, permitiendo varias conexiones simultáneas.

El software es el verdadero cerebro de la instalación y permite realizar múltiples operaciones sobre el sistema, incluso tiene la opción de poder monitorizar y graficar datos del sistema elegidos, pero al trabajar con dicho software nos encontramos con la dificultad de poder realizar análisis con la suficiente libertad de actuación y capacidad de visualización sobre los datos energéticos desde un grado de concreción y de comparación con datos de otros días o variables de manera simultánea, lo cual llevaba a no poder realizar mejoras basadas en los datos que manejaba el sistema.

Para poder realizar dichos análisis al objeto de mejorar la eficiencia energética del edificio era necesario poder contar con un software que permitiese manejar y comparar los datos energéticos de cualquier día, y lo más importante, poder visualizarlos sus gráficos de evolución diaria de manera simultánea, para poder así, valorar desviaciones y de esa manera diagnosticar sus causas. Al hablar de desviaciones me refiero tanto a magnitudes directas como derivadas de los datos adquiridos.

Magnitudes obtenidas de manera directa serían: kW producidos de manera instantánea en las calderas o enfriadoras, temperaturas de retorno o impulsión, etc.

Magnitudes obtenidas de manera indirecta serían: rendimientos de las máquinas, kWh en una determinada cantidad de tiempo en las máquinas, etc.

El problema era que ese software no existía, al menos con las necesidades que se plantean para la gestión energética pormenorizada de un edificio. Únicamente existía la posibilidad de obtener gráficas de un determinado día, incluso de visualizar las gráficas de algunos días de manera simultánea, pero el grado de manipulación necesario para poder obtener la información no estaba permitido.

El objetivo era poder comparar como había sido la evolución de una variable del sistema de un determinado día, respecto a otro, al objeto de comparar diferentes variables, como, consumos energéticos totales(energía eléctrica, gas), perfiles de consumo energético (gráficas de consumo a lo largo del día), rendimientos de las máquinas, etc.

Y analizar que influencia habían tenido sobre esos diferentes parámetros otras variables como: Temperatura exterior, Humedad relativa exterior, Humedad absoluta exterior, Inercia del edificio, Número de horas de funcionamiento de la máquina, Modo de funcionamiento de las máquinas, Tipo de máquina productora de energía térmica empleada, Temperatura de consigna de la máquina productora empleada, etc.

El problema era que el software que se necesitaba para poder realizar las funciones descritas y que permitiese interactuar con el sistema de gestión ya existente, no existía comercialmente, es por ello que ha sido necesario desarrollar dicho software para la adquisición de los datos, y que permita tratarlos, y presentar resultados.

A continuación se presenta el sistema de gestión tanto su hardware como el software del sistema, y el software desarrollado al objeto de tratar los datos.

4.2 INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

En la Tabla 4.1 se exponen algunos de los equipos de instrumentación utilizados para captar información del sistema de calefacción o refrigeración y poder actuar sobre él.

Tabla 4.1.- Resumen de instrumentación utilizada con sus datos técnicos más relevantes

DENOMINACIÓN	DATOS TÉCNICOS	FOTOGRAFÍA
Detectores de flujo: QVE1900	Corriente: AC250V Rango: -20°C-120°C IP65	
Sondas de presión diferencial: QBM81	Rango de medida: 50-500Pa Corriente: AC/DC 24V Temperatura: -30°C- 75°C IP54 Precisión: Ver Figura 4.3	
Contadores de pulsos: WFU	Temperatura: <90°C Caudal: 30l/h- 3000l/h Pmax: 10bar Equiv: 10l/1pulso Precisión: Ver Figura 4.2	
Actuadores de compuertas	Rotación angular: 90° Par nominal: 5- 10Nm Tiempo de posicionamiento: 150seg	
Actuadores electro motorizados: SSB31	Corriente: 230VCA Potencia: 6VA Control: 3puntos 0- 10VCC Fuerza: 200N IP40	

Sondas de temperatura y humedad en conductos: AQM21

Tipo: Pt100. LG-Ni1000
Precisión: Ver Figura 4.4



Sondas de temperatura en pared: QAA20

Tipo: Pt100. Pt1000. NTC10K
Precisión: Ver Figura 4.5



En la Figura 4.2, Figura 4.3, la Figura 4.4 y la Figura 4.5 se exponen algunos datos técnicos de precisión de los equipos anteriormente señalados:

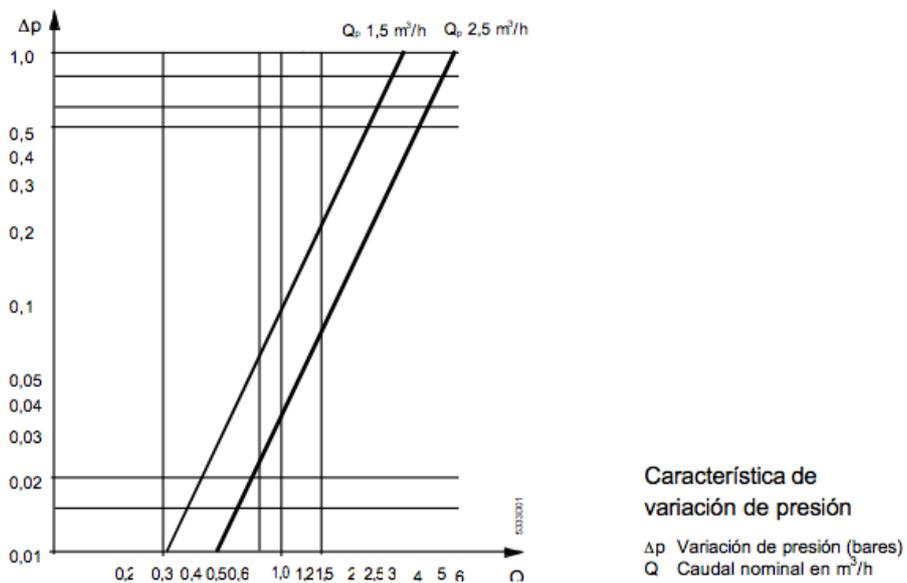


Figura 4.2.- Precisión de los contadores de pulsos. Fuente: hit.sbt.siemens.com

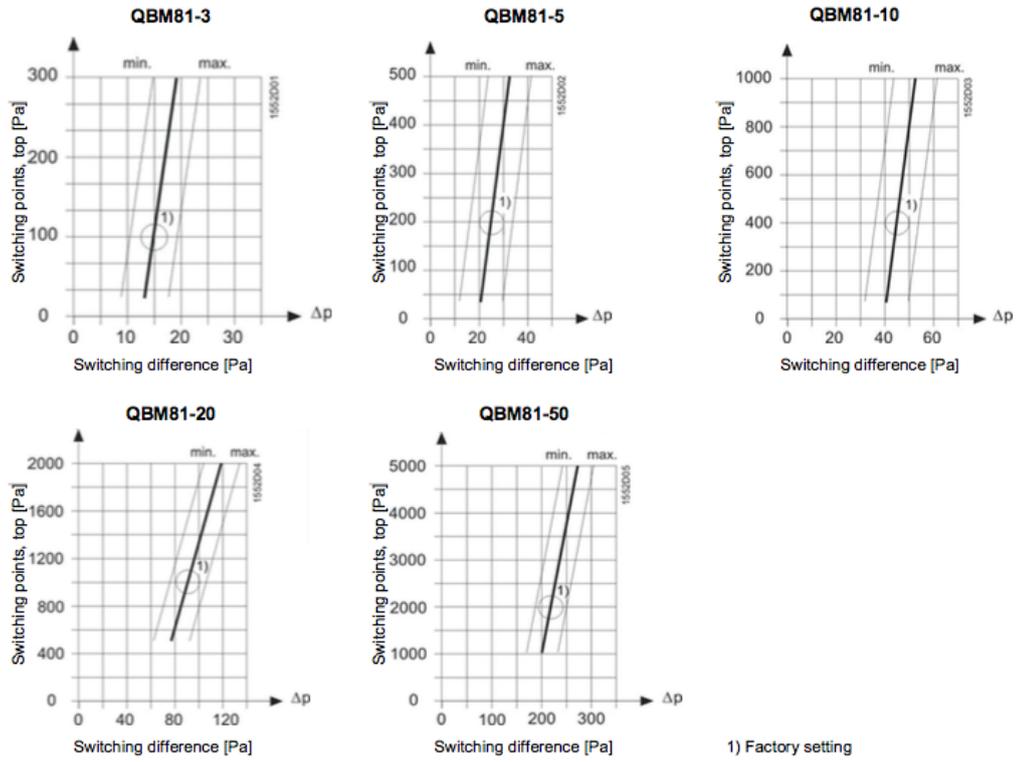
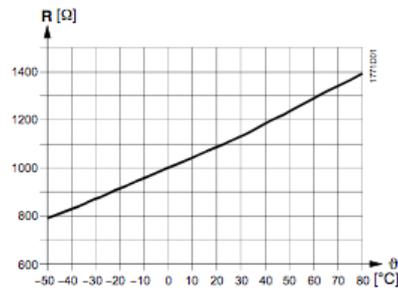


Figura 4.3.- Precisión de los sensores de presión diferencial. Fuente: hit.sbt.siemens.com

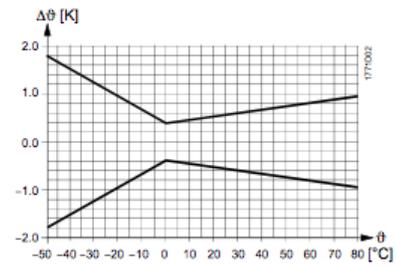
Elementos sensibles

LG-Ni 1000

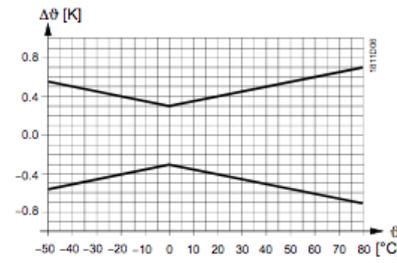
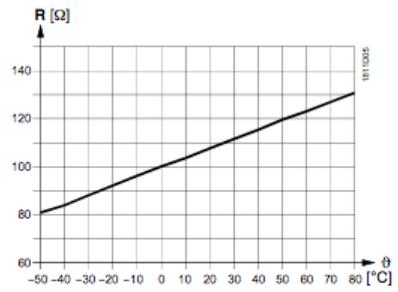
Característica:



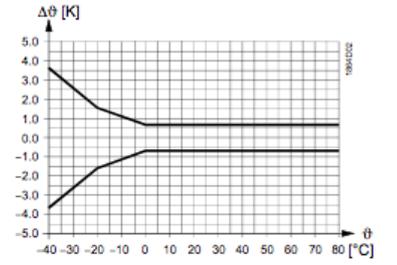
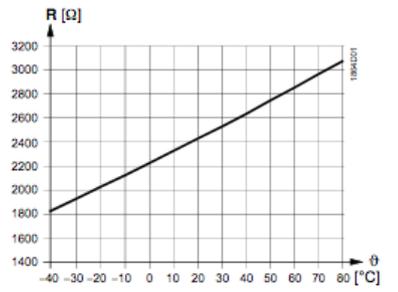
Precisión:



Pt 100



T1 (PTC)



Leyenda

- R Valor de resistencia en Ohm
- θ Temperatura en grados Centígrados
- $\Delta\theta$ Diferencial de temperatura en Kelvin

Figura 4.4.- Precisión de los elementos sensibles de las sondas de temperatura de conductos. Fuente: hit.sbt.siemens.com

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

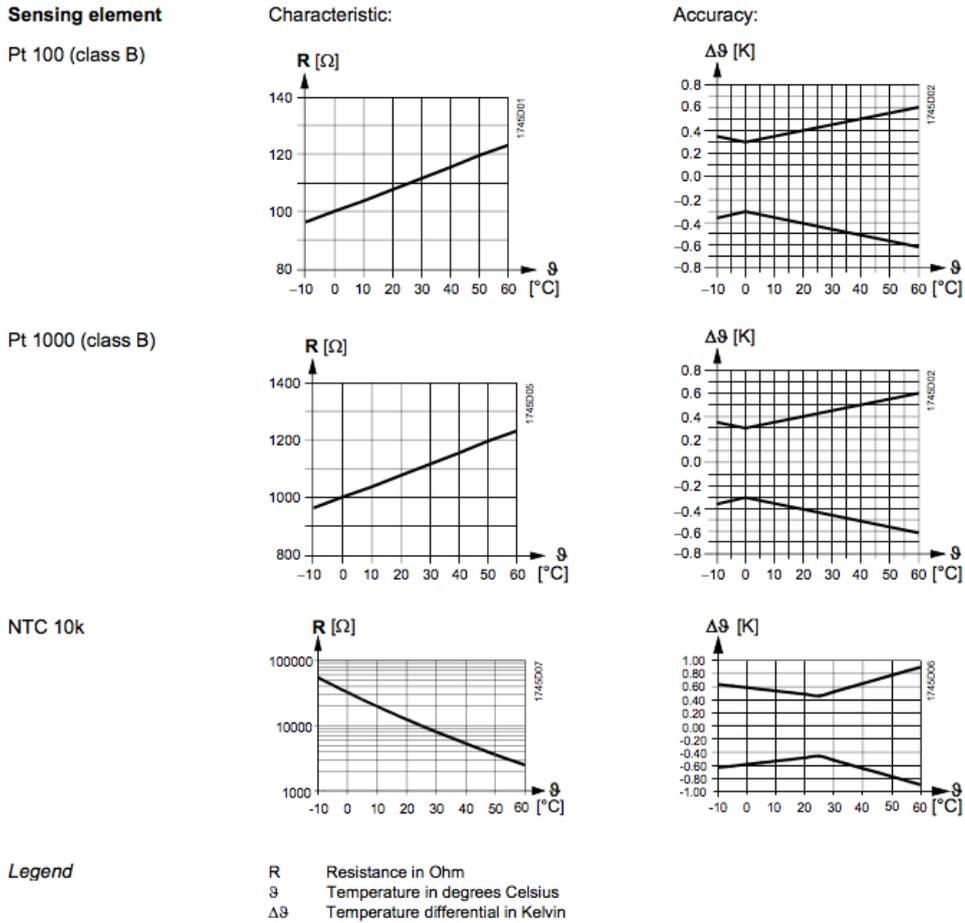


Figura 4.5.- Precisión de los elementos sensibles de las sondas de temperatura de ambiente. Fuente: hit.sbt.siemens.com

Cada una de las sondas o actuadores dispone de una hoja de características como la que se representa en la Figura 4.6:

Sondas estándar de conducto combinada	
Tipo / Código	Código
BPZ-QFM21..	
Para humedad relativa y temperatura	
Atributo	Valor
Rango de medida de humedad	0...95 % r.h. (sin condensación)
Precisión de la medida	Humedad: ± 3 % r.h. típicamente , a 30...70 % r.h. y 23 °C, Temperatura:
Constante de tiempo	Humedad: aprox. 20 s, Temperatura: aprox. 20 s
Longitud de inmersión	90...154 mm
Tipo de conexión	Terminales atornilladas
Tipo de fijación	Brida
Salida analógica, señal	0...10 VCC , 4...20 mA CC
Grado de protección	IP54
Dimensiones (AxHxF)	80 x 88 x 39 mm

Figura 4.6.- Ejemplo de hoja de características técnicas de sonda de temperatura. Fuente: hit.sbt.siemens.com

En el caso concreto de la producción de energía en la instalación de calefacción la instrumentación consiste en:

Sondas de temperatura PT-100, 6 unidades, que miden las temperaturas del agua calentada a la entrada y salida de las calderas.

Sondas de temperatura de chimenea, 2 unidades, para medir las temperaturas de los gases de escape. Medidores de flujo mecánicos, (marca Siemens, modelo QVE1900), 2 unidades, en cada uno de los circuitos que permiten medir si existe o no movimiento de agua en la tubería, y cuya principal misión es evitar una avería de sobrecalentamiento de los tubos intercambiadores del interior de la caldera.

Dos caudalímetros de presión diferencial, encargados de medir el caudal de agua que circula por las tuberías de manera indirecta, mediante la diferencia de presión en dos partes de una misma válvula.

Dos medidores de energía de manera indirecta, que obtienen su resultado de la diferencia de temperatura entre la entrada y salida de las calderas y el caudal que circula por sus tuberías.

A su vez se dispone de actuadores para control de la temperatura en los circuitos de fancoils y una sonda de presión de tubería, cuya misión es informar en caso de que se detecte un rápido descenso de la presión en la instalación.

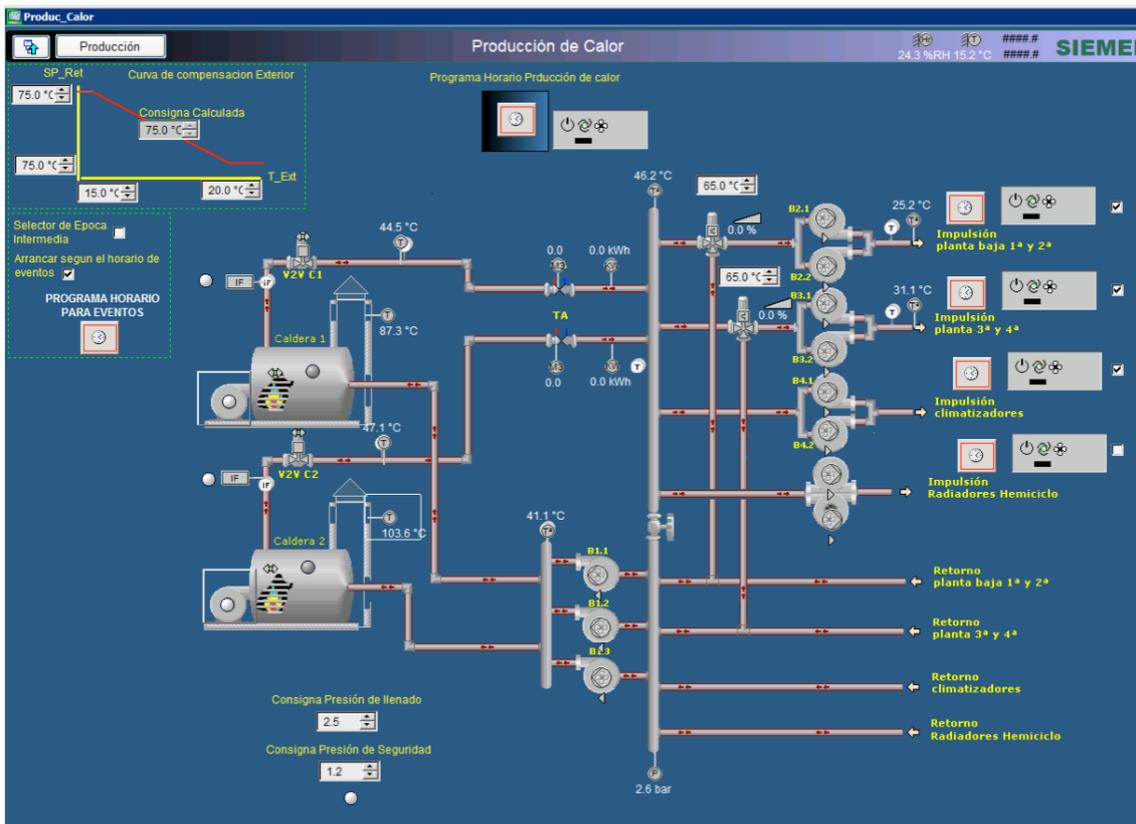


Figura 4.7.- Pantalla del programa de control de la instalación. con la información instantánea de las condiciones de funcionamiento de la instalación de calefacción. Fuente: Desigo insight. Siemens.

En el caso concreto de la producción de energía en la instalación de refrigeración la instrumentación consiste en:

6 sondas de temperatura Pt-100 que miden las temperaturas del agua enfriada a la entrada y salida en el evaporador tanto en las enfriadoras condensadas por agua, como en las enfriadoras condensadas por aire.

A su vez existen medidores de caudal volumétrico electromagnéticos, (marca Siemens, modelo SITRANS FM MAG 5100) en cada uno de los circuitos (\dot{m}_{WCC} , \dot{m}_{WACC1} , \dot{m}_{WACC2}) que permiten medir la variación del caudal de agua enfriada (\dot{m}_{1DAC}).

También se registran las temperaturas del agua primaria enfriada en el enfriador adiabático, tanto de entrada como de salida, ($T_{1DAC,i}$, $T_{1DAC,o}$) y el flujo de agua utilizado para empapar los paneles laterales (\dot{m}_{2DAC}).

La energía eléctrica consumida se mide utilizando un analizador de redes (marca Schneider, modelo Power Logic PM700). Este sistema de medida mide el voltaje (V) y la corriente (I) consumidos y de estos valores se puede inferir la potencia eléctrica consumida (W_{el}) de manera instantánea, y por lo tanto la energía eléctrica consumida en un período de tiempo determinado (W_{el}) en kWh.

Las condiciones ambientales (T_0 , HR_0 , P_0) también son registradas por el sistema.

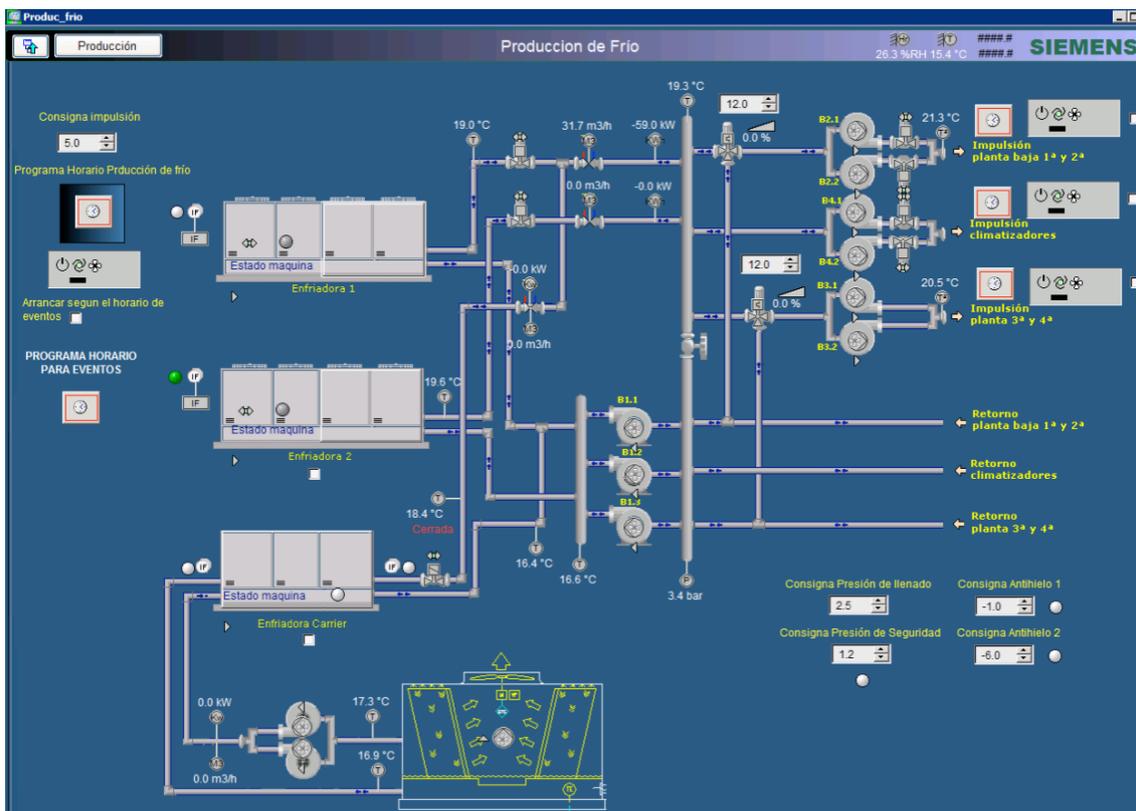


Figura 4.8.- Pantalla del programa de control de la instalación. con la información instantánea de las condiciones de funcionamiento de la instalación de refrigeración. Fuente: Diseño insight. Siemens.

4.3 HARDWARE: DESCRIPCIÓN.

El hardware del sistema consiste en un conjunto de controladores conectados mediante un bus tipo Modbus de 5 hilos, como el que aparece en la Figura 4.9. con otros cuadros de control secundarios.



Figura 4.9.- Imagen de un controlador típico de fancoils. KNX. Fuente: hit.sbt.siemens.com

Dichos controladores se pueden diferenciar entre los que actúan sobre los cuadros eléctricos y los que actúan sobre los cuadros de climatización.

Tabla 4.2.- Resumen de controladores para sistema eléctrico del edificio.

PLC	NOMBRE CC	PILAS							CUADROS		IO		IO MAXIMAS		
		S7-CPU224	S7-CPU222	S7-EM221	S7-EM222	S7-EM223	S7-BC293	S7-CC292	PS7-72	PS7-32	ED	SD	max ED	max SD	
E-1	C.P.S. C.G.B.T	1		1				1		1	22	10		22	10
E-2	C.P.B.1		1	1	1			1		1	6	6		16	14
E-4	C.P.B.3	1	0	0	0	2		1		1	11	11		30	26
E-5	C.P.S. APARCAMIENTO Y ALMACENES		1			2	0	1		1	15	12		24	22
E-6	C.P.2*4		1				0	1		1	6	4		8	6
E-8	C.P.B.4	1				1	1			1	8	8		22	18
E-9	C.P.1*1	1					1			1	10	7		14	10
E-10	C.P.1*5	1				1	1		1		24	18		22	18
E-11	C.P.2*1	1					1			1	11	8		14	10
E-12	C.P.3*1	1					1			1	10	7		14	10
E-13	C.P.4*1	1					1			1	10	7		14	10
E-14	C.P.1*4	1				1	1		1		17	12		22	18
E-15	C.P.B.5	1				1	1			1	7	7		22	18
E-16	C.P.B.7	1				1	1			1	10	10		22	18
E-17	C.P.1*2	1					1			1	9	7		14	10
E-18	C.P.2*2	1					1			1	10	8		14	10
E-19	C.P.3*2	1					1			1	9	7		14	10
E-20	C.P.4*2	1					1			1	9	7		14	10
E-22	C.P.S. ARCHIVO		1					1		1	4	4		8	6
E-23	C.P.B.8		1			1		1		1	5	5		16	14
E-24	C.P.B.9		1			2		1		1	12	12		24	22
E-26	C.P.1*3	1					1			1	10	7		14	10
E-27	C.P.1*7		1			1		1		1	14	9		16	14
E-28	C.P.1*8		1			2	1		1	0	18	15		24	22
E-29	C.P.2*3	1					1			1	10	7		14	10
E-30	C.P.3*3	1					1			1	10	7		14	10
E-31	C.P.4*3	1					1			1	10	7		14	10
E-32	C.P.B.6	1				3	1			1	9	9		38	34
E-33	C.P.1*6	1				1	1		1		23	18		22	18
E-34	C.P.1*HEMICICLO		1			1		1		1	13	13		16	14
E-35	C.P.2*5	1				1	1			1	11	7		22	18
TOTAL		22	9	2	1	21	21	10	4	27	353	276			

En la Tabla 4.2 se puede apreciar que se dispone de un total de 353 entradas digitales y 276 salidas digitales.

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Los cuadros de climatización son 3 unidades en la planta sótano y 3 unidades en la planta segunda. Dichos cuadros adquieren y emiten señales analógicas y digitales. La Tabla 4.3 muestra como es el listado de algunas de las señales gestionadas.

Tabla 4.3.- Listado de algunas de las señales de los cuadros de control.

Plant Room:	Planta Cubierta	Object name	Modulo 1, 2
Not Defined	Address	I/O Module Type	Description
Module Address			Not Available
Q=1.40(1)	B'A'SensTRDisp01TR	Building.Ventilación y aire acond..Sondas Inalambricas Hemiciclo.Visualizador temp.ambiente 01.Temperatura ambiente 01	
Q=2.40	B'A'SensTRDisp02TR	Building.Ventilación y aire acond..Sondas Inalambricas Hemiciclo.Visualizador temp.ambiente 02.Temperatura ambiente 02	
Q=3.40	B'A'SensTRDisp03TR	Building.Ventilación y aire acond..Sondas Inalambricas Hemiciclo.Visualizador temp.ambiente 03.Temperatura ambiente 03	
Q=4.40	B'A'SensTRDisp04TR	Building.Ventilación y aire acond..Sondas Inalambricas Hemiciclo.Visualizador temp.ambiente 04.Temperatura ambiente 04	
Plant Room:	Planta Cubierta	Object name	Modulo 1, 2
TXM1.PBUS/TX Modules	Address	I/O Module Type	Description
Module Address			
1.1	B'ACL08TSu	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 08 Sala Ponen Izq.Temperatura aire impulsión	7,2,4
1.2	B'ACL09TSu	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 09 Sala Comis Izq.Temperatura aire impulsión	7,6,8
1.3	B'ACL12TSu	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 12 Sala Poliv Pl Ba.Temperatura aire impulsión	15,10,12
1.4	B'ACL142TSu	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 14.2 Desp President.Temperatura aire impulsión	15,14,16
1.5	B'ACL23TSu	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 23 Hemiciclo.Temperatura aire impulsión	24,19,21
1.6	B'ACL08HuEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 08 Sala Ponen Izq.Humedad de aire extraído	24,23,25
1.7	B'ACL08TEEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 08 Sala Ponen Izq.Temperatura aire extraído	32,27,29
Module Address		2 I/O Module Type	
2.1	B'ACL08HuOa	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 08 Sala Ponen Izq.Humedad de aire exterior	7,2,4
2.2	B'ACL08TOa	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 08 Sala Ponen Izq.Temperatura aire exterior	7,6,8
2.3	B'ACL09HuEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 09 Sala Comis Izq.Humedad de aire extraído	15,10,12
2.4	B'ACL09TEEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 09 Sala Comis Izq.Temperatura aire extraído	15,14,16
2.5	B'ACL12HuEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 12 Sala Poliv Pl Ba.Humedad de aire extraído	24,19,21
2.6	B'ACL12TEEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 12 Sala Poliv Pl Ba.Temperatura aire extraído	24,23,25
2.7	B'ACL142HuEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 14.2 Desp President.Humedad de aire extraído	32,27,29
2.8	B'ACL142TEEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 14.2 Desp President.Temperatura aire extraído	32,31,33
Module Address		3 I/O Module Type	
3.1	B'ACL23HuEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 23 Hemiciclo.Humedad de aire extraído	7,2,4
3.2	B'ACL23TEEx	Building.Ventilación y aire acond..Climatizador 23 Hemiciclo.Temperatura aire extraído	7,6,8

Que hacen un total de 602 señales de adquisición o suministro de información analógica o digital.

A modo indicativo, en la Figura 4.10, la Figura 4.12, la Figura 4.13, la Figura 4.13, la Figura 4.14 y la Figura 4.15, se pueden ver los planos de ubicación de los cuadros de control y la conectividad que existe entre ellos:

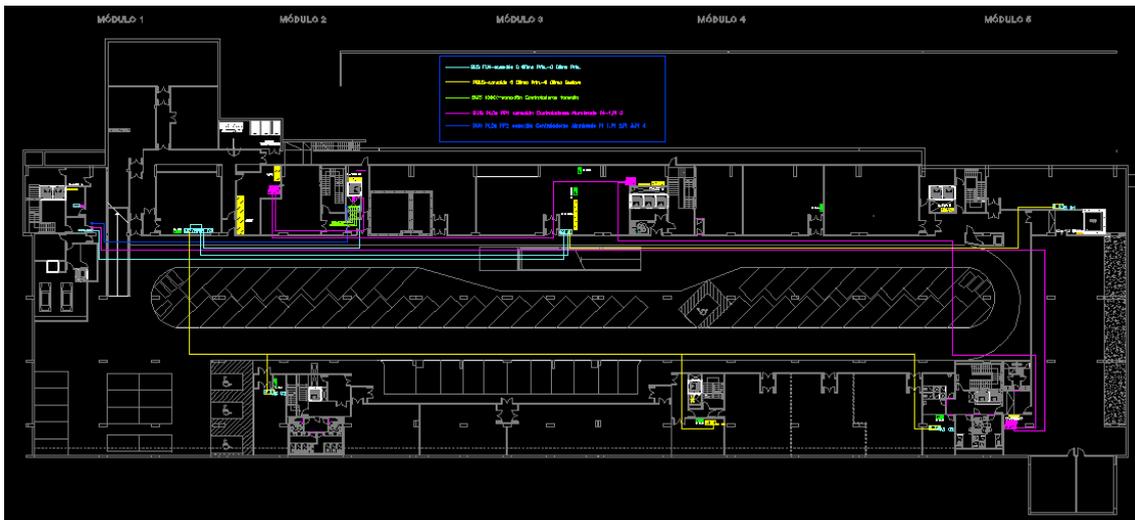


Figura 4.10.- Planta sótano: Ubicación de cuadros de control

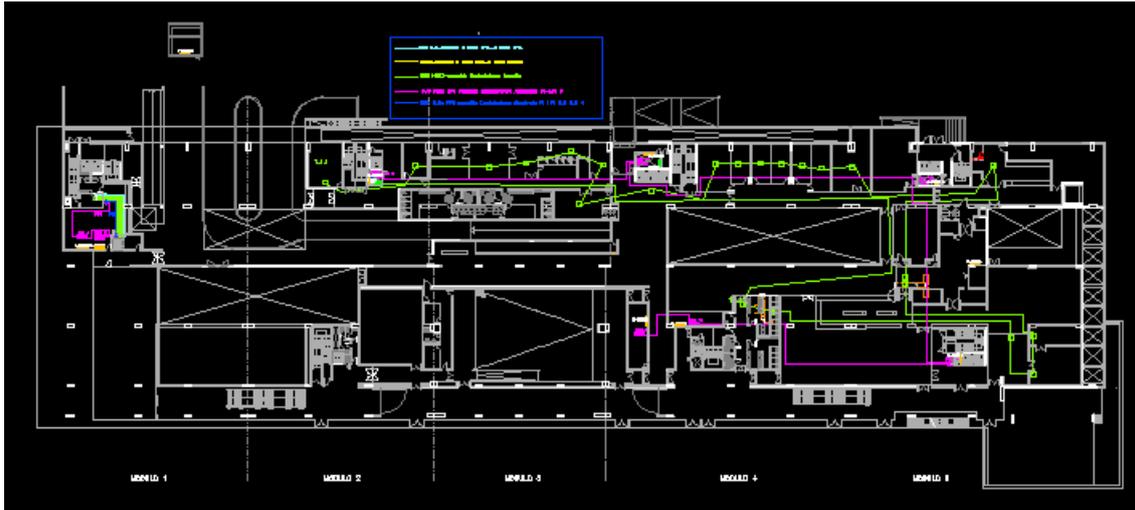


Figura 4.11.- Planta baja: Ubicación de cuadros de control

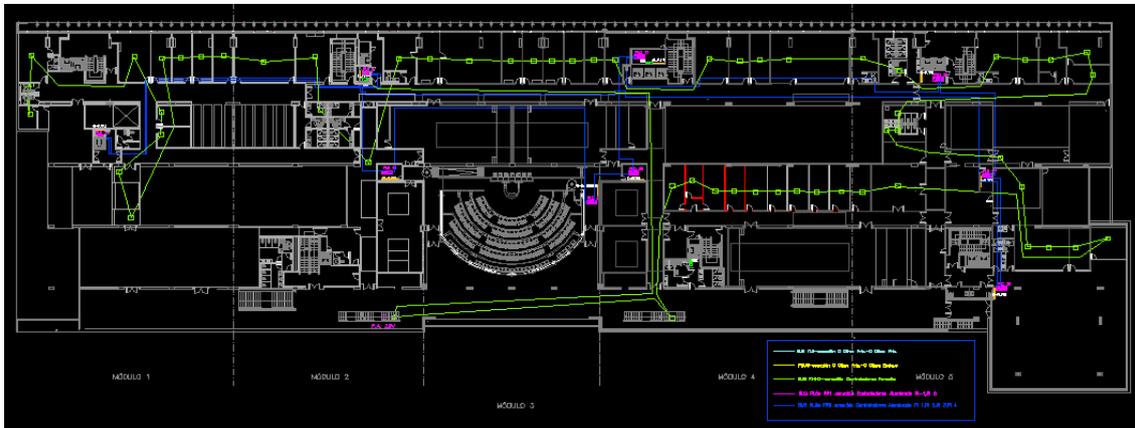


Figura 4.12.- Planta primera: Ubicación de cuadros de control

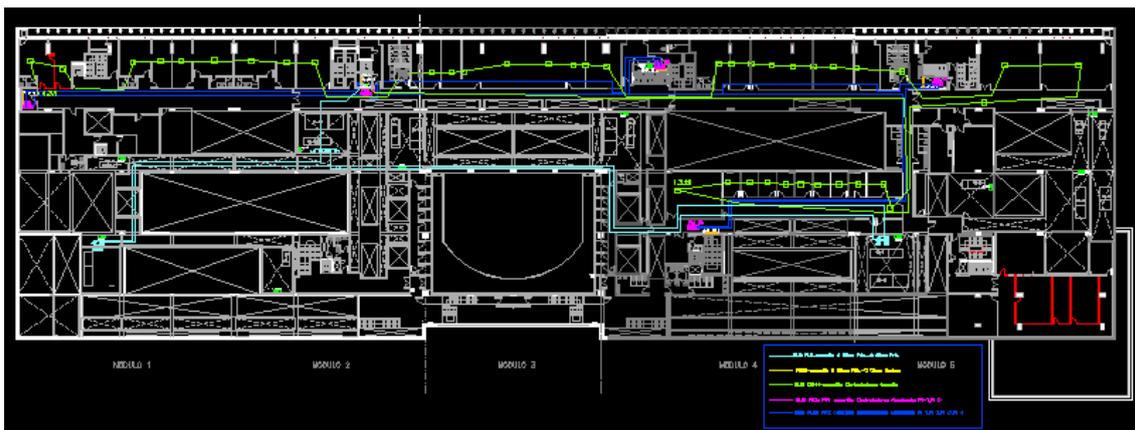


Figura 4.13.- Planta segunda: Ubicación de cuadros de control

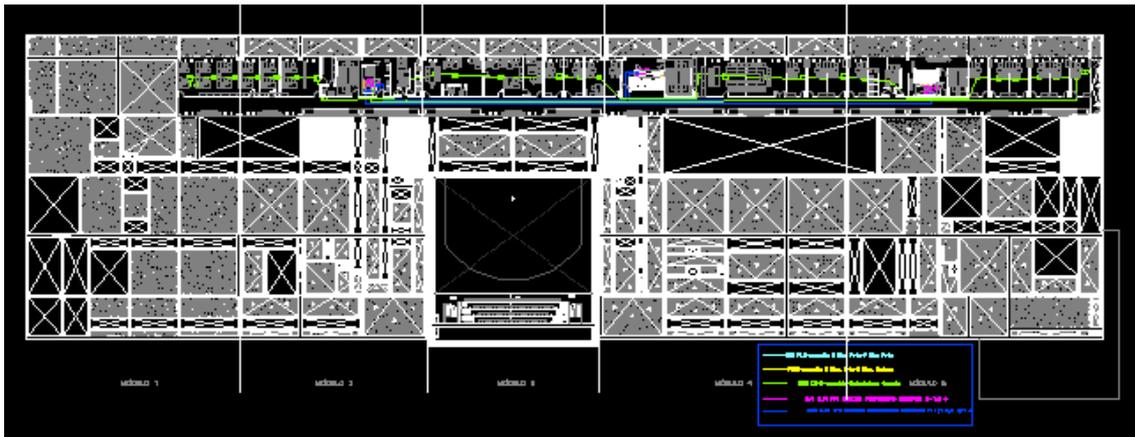


Figura 4.14.- Planta tercera: Ubicación de cuadros de control

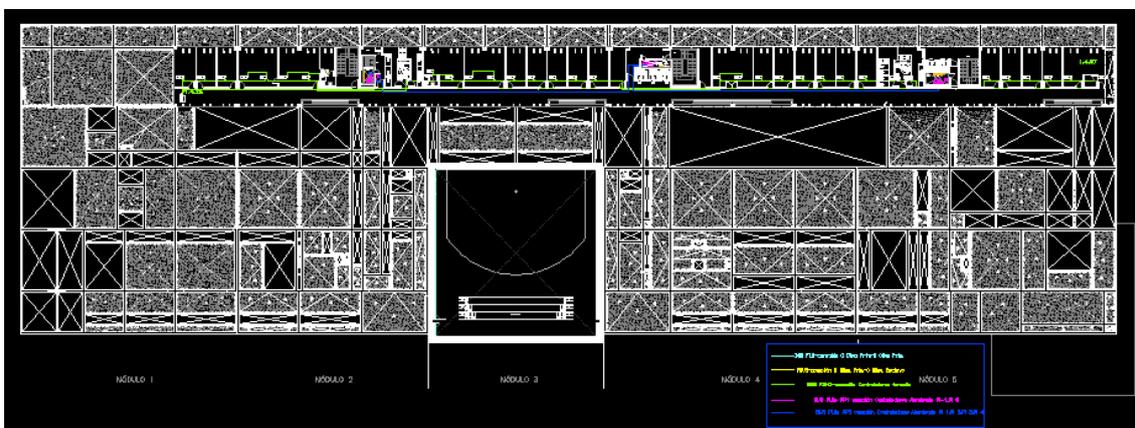


Figura 4.15.- Planta cuarta: Ubicación de cuadros de control

A modo informativo el despiece de uno de esos cuadros es el que se muestra en la Figura 4.16, la Figura 4.18, y la Figura 4.18.

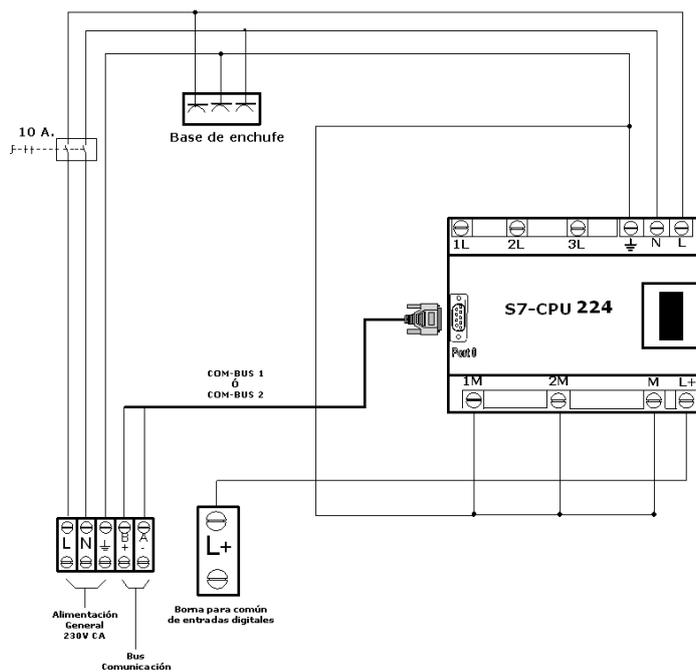


Figura 4.16.- Esquema unifilar del cuadro

sobre relés para controlar circuitos o bien serán señales eléctricas proporcionales para actuar sobre actuadores.

4.4 SOFTWARE

El software empleado para realizar el estudio es de dos tipos:

1. Software comercial de la marca Siemens.
2. Software desarrollado expresamente para el estudio (no comercial).

4.4.1 Software comercial. Siemens Desigo Insight.

Se trata de un software de la marca Siemens, desarrollado en Suiza, y cuyas principales características son las siguientes:

1. Es fácilmente escalable desde un único edificios a varios interconectados.
2. Es un software de arquitectura abierta y de fácil integración. ya que utiliza el protocolo BACnet, y permite la comunicación con diferentes protocolos, via KNX, LonWorks, Modbus, M-bus, etc.
3. Es un sistema intuitivo y agradable al usuario.
4. Permite obtener información de gran cantidad de parámetros.

Este sistema de gestión lo que hace es conectar la gran cantidad de instrumentación de adquisición de información distribuida por el edificio, tratarla según la programación, y emitir una serie de órdenes mediante actuadores que permiten modificar la temperatura, la iluminación, el caudal, etc.

A modo de ejemplo en la Figura 4.19, se puede ver la imagen de control de un climatizador, dónde se puede observar:

1. Permite controlar las temperaturas de consigna máxima y mínima.
2. Permite realizar una regulación de la temperatura de la sala a climatizar según la sonda de temperatura de impulsión o de retorno.
3. Permite tener un horario propio del climatizador, independiente del horario de funcionamiento general de la instalación de calefacción o refrigeración.
4. Da información sobre los grados de apertura de las compuertas de free-cooling.
5. Da información sobre el grado de apertura de las válvulas de 3 vías de las baterías de frío, calor y post calentamiento.
6. Da información de la temperatura de impulsión, de retorno y de la humedad relativa del aire de retorno.
7. Da información sobre la humedad y temperatura exterior en la ubicación del climatizador, y en la zona común de toma de datos situada en la cara norte de la planta baja.

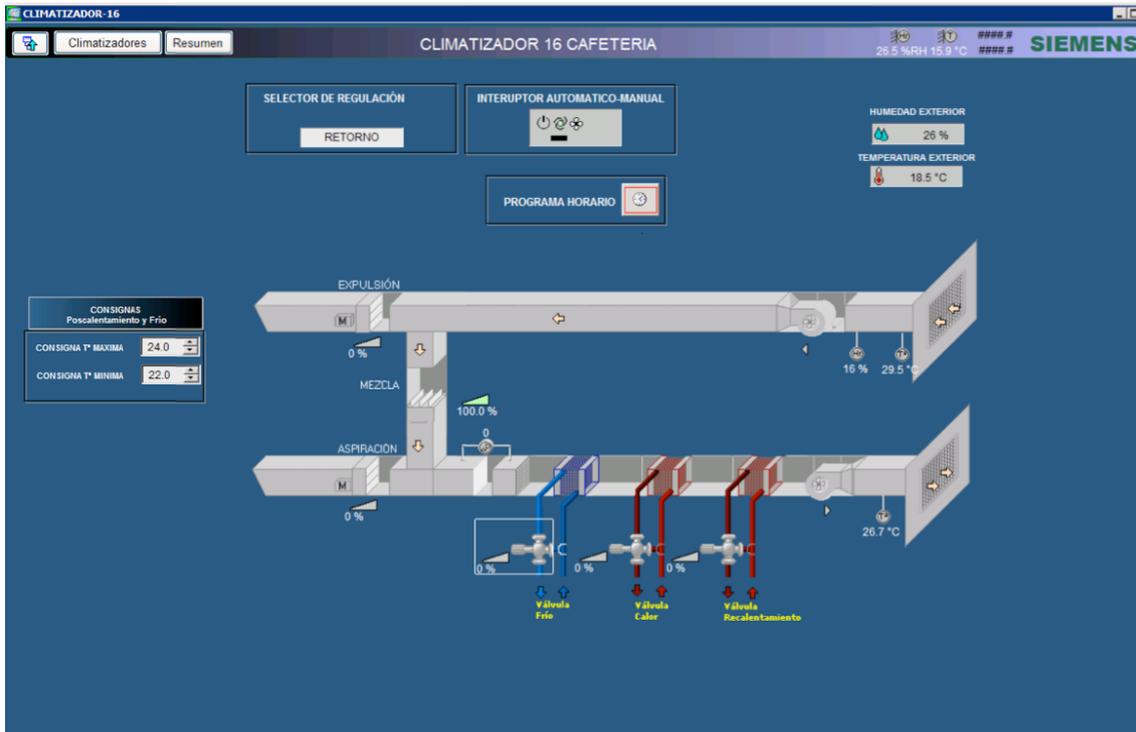


Figura 4.19.- Imagen de la página de control de un climatizador. Fuente: Diseño insight. Siemens.

De modo que el sistema de control permite la programación de horarios en sistemas de producción de energía térmica, en climatizadores, fancoils, sistemas de alumbrado, sistemas de deslastrado, etc.

A su vez, también permite la visualización de los parámetros de los diferentes sistemas del edificio, tales como temperaturas de impulsión, retorno, grado de apertura de compuertas, visualización del encendido de circuitos eléctricos, etc.

Da información sobre alarmas acaecidas en los sistemas gestionados, como fallos por filtros sucios, caídas de tensión, sobre calentamientos, etc.

Da información sobre contadores energéticos, ya sean eléctricos, de gas, o de agua.

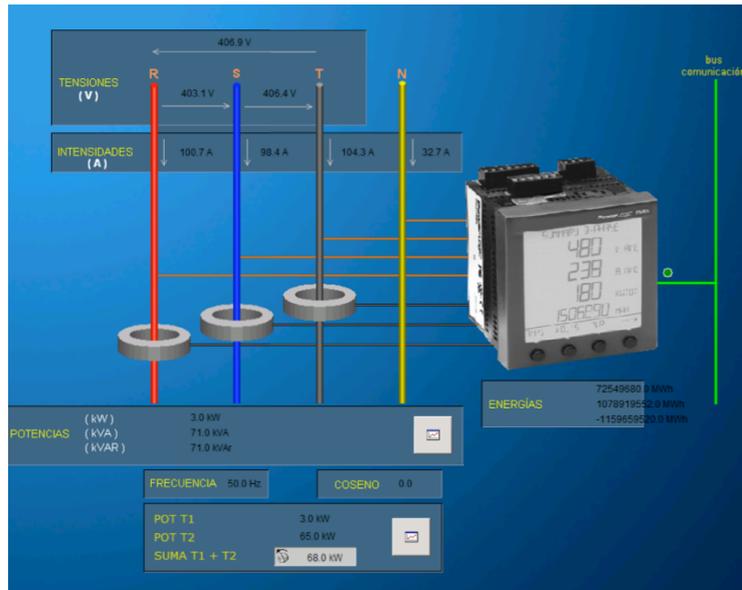


Figura 4.20.- Información sobre analizador de redes de un transformador. Fuente: Desigo insight. Siemens.

Para poder realizar la monitorización energética y la posterior evaluación e interpretación de resultados se estuvo estudiando cual sería la manera más eficaz para poder guardar los datos. El programa comercial dispone de una aplicación, denominada “visualizador de tendencias”, que permite elegir cualquier variable y realizar una monitorización de la misma para posteriormente poder extraer los datos a Excel, pero ese sistema además de inestable (corre en un entorno Windows que podría en cualquier momento verse afectado por una incidencia y dejar de guardar datos, y lo que es peor, perder todos los anteriormente guardados), no permite realizar visualizaciones simultáneas de múltiples días al objeto de evaluar la influencia de diferentes variables sobre la característica que está siendo objeto de estudio, ni permite una configuración sencilla de las escalas de los ejes y precisamente la principal característica del sistema buscado para poder analizar los datos, es que permita una visualización simultánea de diferentes perfiles de consumo, no ya en días diferentes dentro de un mes, sino incluso, en meses diferentes.

A modo de ejemplo se puede ver en la Figura 4.21 una imagen del visualizador de tendencias. Este módulo nos permite conocer la evolución de la mayor parte de las variables del sistema, además permite su exportación a formato xml, pero el tipo de información proporcionada es como la mostrada en la Figura 4.21.

Dadas las características de este sistema, sólo se pueden visualizar y analizar los datos sin ningún tipo de discontinuidad, además de no poder realizar operaciones matemáticas con los datos obtenidos, salvo que se traspongan al formato xml.

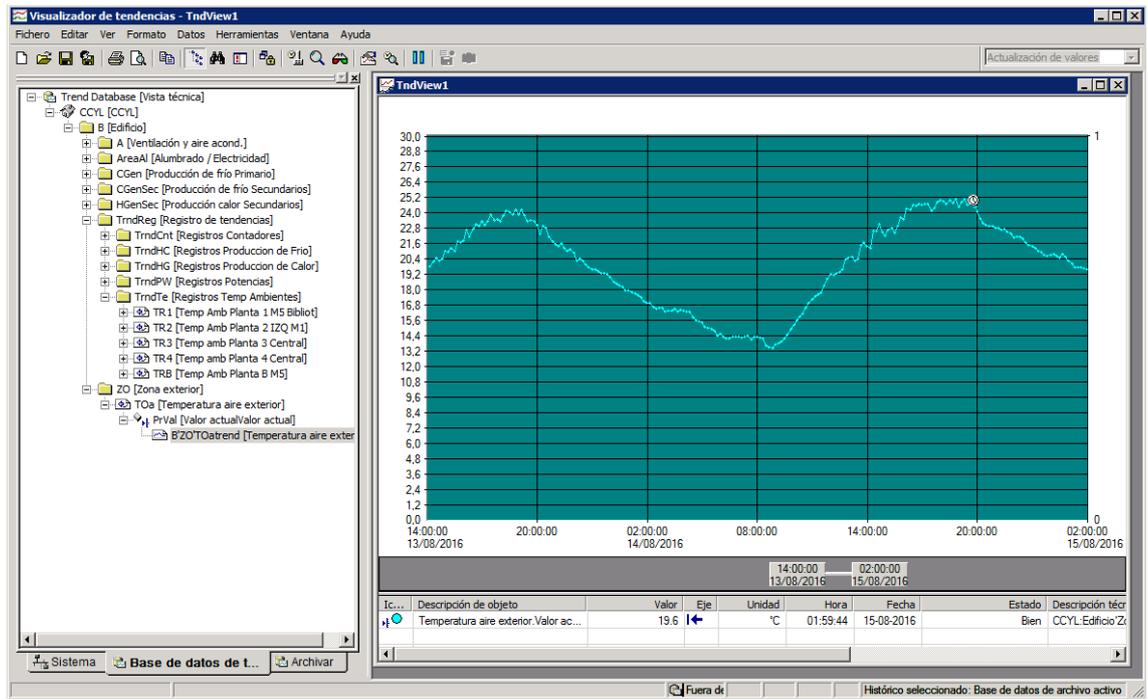


Figura 4.21.- Vista del visualizador de tendencias del programa comercial. Fuente: Diseño insight. Siemens.

Es por ello, que se optó por un sistema que fuera más robusto ante incidencias, y permitiera un control mayor sobre la gestión y presentación de resultados.

4.4.2 Software desarrollado para la gestión de los datos.

Debido a las dificultades señaladas anteriormente, se desarrolló un procedimiento que permitiera el control y la gestión de los valores de múltiples variables del sistema de gestión desde su origen.

A continuación se va a describir como es el proceso de adquisición de los datos. y las diferentes rutinas de Visualbasic en soporte Excel para tratarlos.

4.4.2.1 Adquisición de los datos desde el programa comercial Diseño Insight de Siemens.

La mejor manera de asegurar que cualquier incidencia del software de control no tuviera incidencia sobre los datos que se estaban generando y guardando, era que se guardaran cada cierto tiempo, pero para evitar trabajar con archivos de datos muy grandes, se optó por que el programa creara archivos con los datos generados en un momento determinado y procediera a guardarlos, de modo que la inestabilidad del sistema no afectara a los datos ya guardados.

Para ello, los programadores de Siemens modificaron la programación para que el programa produjera cada 5 minutos un archivo “csv”, con todas las variables del sistema que se consideran más importantes, (43 variables) y en cuyo interior aparecen los nombres y los valores de las variables elegidas, de este modo, cualquier incidencia que provocara que el sistema dejara de funcionar no arruinaría los datos ya grabados.

El proceso fue el siguiente:

1. Se definieron que variables se querían tener monitorizadas, entre las múltiples de las que cuenta el sistema se eligieron aquellas que permiten evaluar cómo están funcionando los sistemas productores de energía, sistema de climatización, sistema de calefacción, la potencia activa producida por cada transformador eléctrico, las variables de climatología exterior, temperaturas en varias zonas representativas, y los valores de los contadores (gas y agua) del edificio.
2. Posteriormente, se definió un período de tiempo que permitiera recoger la tendencia de los sistemas monitorizados, pero sin sobrecargar el almacenamiento, y se llegó a la conclusión de que 5 minutos sería un tiempo adecuado.

Esos archivos se van almacenando en la memoria del servidor informático en el que se ejecuta el programa comercial.

En la Tabla 4.4 se puede ver que formato, y que información contiene un archivo csv como los que genera el programa comercial cada 5 minutos.

Tabla 4.4.- Ejemplo de archivo "csv" con las variables almacenadas

Nombre informe:	Señales Controladas		
Estado informe:	La creación del informe se completó con éxito.		

Descripción de objeto	Nombre	Valor	Unidad
Caudal	B'HGen'Bo1'FITaLink'Fl ^{M3} h	0	
Caudal	B'HGen'Bo2'FITaLink'Fl ^{M3} h	0	
Humedad de aire exterior	B'ZO'HuOa	84.4	%RH
Temperatura Despacho			
President	B'A'CL15'TRMes	14.7	°C
Tª Salida Condensador	B'CGen'ChAd'TOCds	16.1	°C
Tª Entrada Condensador	B'CGen'ChAd'TRtCds	12.2	°C
Tª Entrada Enfriadora	B'CGen'ChAd'TRtCh	13.7	°C
Temp Salida Circ 3 y 4	B'TrndReg'TrndHC'T3y4	14.8	°C
Temp Salida Circ Baja 1 y 2	B'TrndReg'TrndHC'TCB1Y2	17.2	°C
Temp Colector de Impulsión	B'TrndReg'TrndHC'TCImp	21.4	°C
Temp Colector de Retorno	B'TrndReg'TrndHC'TCRet	17.7	°C
Temp Salida Enf Peq	B'TrndReg'TrndHC'TFP	18.2	°C
Temp Salida Enfriadora 1	B'TrndReg'TrndHC'TOutF1	20.4	°C
Temp Salida Enfriadora 2	B'TrndReg'TrndHC'TOutF2	21.5	°C
Temp Salida Circ 3 y 4	B'TrndReg'TrndHG'T3y4	15.7	°C
Temp Salida Circ Baja 1 y 2	B'TrndReg'TrndHG'TCB1Y2	15.4	°C
Temp Colector de Impulsión	B'TrndReg'TrndHG'TCImp	20.7	°C
Temp Colector de Retorno	B'TrndReg'TrndHG'TCRet	18.7	°C
Temp Salida Caldera 1	B'TrndReg'TrndHG'TOutC1	18.3	°C

Descripción de objeto	Nombre	Valor	Unidad
Temp Salida Caldera 2	B'TrndReg'TrndHG'TOutC2	18.1	°C
Temp Amb Planta 1 M5			
Bibliot	B'TrndReg'TrndTe'TR1	20.3	°C
Temp Amb Planta 2 IZQ M1	B'TrndReg'TrndTe'TR2	16.6	°C
Temp amb Planta 3 Central	B'TrndReg'TrndTe'TR3	19.3	°C
Temp amb Planta 4 Central	B'TrndReg'TrndTe'TR4	18	°C
Temp Amb Planta B M5	B'TrndReg'TrndTe'TRB	17.9	°C
Temperatura aire exterior	B'ZO'TOa	5.1	°C
Potencia real total	B'AreaAl'FlrS'EIPnlCGBT'PM710Ge'AI04	0	kW
Potencia real total	B'AreaAl'FlrS'EIPnlCGBT'PM710Poli'AI04	1.4	kW
Potencia real total	B'AreaAl'FlrS'EIPnlCGBT'PM710T1'AI04	35	kW
Potencia real total	B'AreaAl'FlrS'EIPnlCGBT'PM710T2'AI04	35	kW
Potencia actual condensación	B'CGen'ChAd'PwrCon	0.1	kW
Potencia actual evaporación	B'CGen'ChAd'PwrEva	-0.2	kW
Potencia Enfriadora 1	B'TrndReg'TrndHC'AvlPwrF1	-0.1	kWh
Potencia Enfriadora 2	B'TrndReg'TrndHC'AvlPwrF2	-0.1	kWh
Potencia Caldera 1	B'TrndReg'TrndHG'AvlPwrC1	0	kWh
Potencia Caldera 2	B'TrndReg'TrndHG'AvlPwrC2	0	kWh
Contador de gas Cafeteria	B'3p'3pCont'MtrGasGC	185454	m ³
Contador de gas General	B'3p'3pCont'MtrGasGG	1386543	m ³
Contador de agua General	B'3p'3pCont'MtrWG	96011.3	m ³
Caudal	B'CGen'Ch1'FITaLink'FIM3h	0	m ³ /h
Caudal	B'CGen'Ch2'FITaLink'FIM3h	0	m ³ /h
Caudal condensacion	B'CGen'ChAd'FICond	0	m ³ /h
Caudal evaporacion	B'CGen'ChAd'FIEvapor	0	m ³ /h

En este punto se dispone de la información de 43 variables cada cinco minutos en diferentes archivos, pero para poder tratar la información disponible, es necesario refundir dicha información en un único archivo.

Para ello, se ha desarrollado un procedimiento en lenguaje Visual Basic de Excel, que permite extraer los datos de cada uno de esos archivos “csv”, y fundirlos en un único archivo de Excel para que puedan posteriormente ser tratados. De esta manera además se podrá realizar cálculos con los datos obtenidos al objeto de obtener magnitudes derivadas.

4.4.2.2 Recolección de datos desde los archivos “csv”.

En este punto disponemos de un total de 288 tomas de datos al día, con un total de 12 672 variables diarias, 380 160 valores mensuales, y unos 4 561 920 valores anuales. Pero todas esas variables están en archivos diferentes con la periodicidad definida de 5 minutos, y cada archivo tiene un nombre diferente que incluye la fecha y la hora.

Para poder hacer un tratamiento de los datos, se hace necesario juntarlos todos en un único archivo, solventando antes el hecho de que cada archivo se guarda de manera

automática con un nombre que hace alusión a la fecha en que se creó de la manera siguiente:

TT_2016_02_01_00_55_00_62128044.Señales Controladas

TT_Año_mes_día_hora_minuto_segundo_milisegundos.Señales Controladas

Pero para ello, es necesario conocer exactamente el nombre del archivo que se quiere abrir y el hecho de que el sistema cree los archivos “csv” de adquisición de datos con los milisegundos lo complica extraordinariamente. Hasta tal punto que se desarrolló primero una rutina para trunca en primer lugar esos milisegundos del nombre de cada archivo. para ello se emplean la Rutina 1 y la Rutina 2,

Una vez cambiados los nombres de los archivos a un formato que pueda ser manipulado por un bucle, se procede a abrir cada archivo de manera correlativa, extraer los datos, y pegarlos en el archivo conjunto, para eso se utiliza la Rutina 3.

Una vez extraídos los datos, la forma que presenta el archivo común es la que aparece en la Figura 4.22:

ENERO	TT_2016_01_01_00_00_00	TT_2016_01_01_00_05_00	TT_2016_01_01_00_10_00	TT_2016_01_01_00_15_00	TT_2016_01_01_00_20_00
Caudal Caldera 1	m3/h	-	54.30	47.70	52.70
Caudal Caldera 2	m3/h	-	55.30	53.80	57.40
Humedad de aire exterior	%RH	72.70	72.60	71.90	72.70
Temperatura Despacho Preside	°C	15.00	15.00	15.00	15.00
Tª Salida Condensador Adiab.	°C	15.10	11.40	11.60	11.90
Tª Entrada Condensador Adiab.	°C	12.20	10.90	11.60	11.90
Tª Entrada Enfriadora nueva	°C	14.00	17.20	16.90	16.90
Temp Salida Circ 3 y 4-Frio	°C	16.70	16.70	16.70	16.70
Temp Salida Circ Baja 1 y 2-Fr	°C	18.30	18.30	18.30	18.30
Temp Colector de Imp-Frio	°C	23.00	21.60	18.50	20.60
Temp Colector de Ret.-Frio	°C	19.50	16.80	19.20	18.70
Temp Salida Enf nueva	°C	18.70	16.90	19.00	20.10
Temp Salida Enfriadora 1	°C	22.20	21.80	18.80	20.50
Temp Salida Enfriadora 2	°C	23.20	21.80	19.10	20.60
Temp Salida Circ 3 y 4-Calor	°C	23.80	23.80	23.80	23.60
Temp Salida Circ Baja 1 y 2-Ca	°C	19.80	19.80	19.60	19.60
Temp Colector de Imp.-Calor	°C	35.40	42.60	33.20	34.40
Temp Colector de Ret.Calor	°C	30.10	38.00	33.00	34.50
Temp Salida Caldera 1	°C	37.50	39.70	33.40	34.70
Temp Salida Caldera 2	°C	38.20	42.70	32.10	34.10
Temp Amb Planta 1 M5 Bibliot	°C	20.20	20.20	20.20	20.20
Temp Amb Planta 2 IZQ M1	°C	17.70	17.70	17.70	17.70
Temp amb Planta 3 Central	°C	19.40	19.40	19.40	19.40
Temp amb Planta 4 Central	°C	18.30	18.30	18.30	18.30
Temp Amb Planta B M5	°C	18.60	18.60	18.30	18.30
Temperatura aire exterior	°C	2.20	2.00	2.20	2.00
Potencia real total-Analz. GE	kW	-	-	-	-
Potencia real total-Analz. Poliv	kW	1.40	28.10	28.20	28.00
Potencia real total-Trafo 1	kW	32.00	80.00	79.00	80.00
Potencia real total-Trafo 2	kW	32.00	80.00	80.00	82.00
Potencia actual condensador	kW	0.10	98.20	4.10	12.30
Potencia actual enf nueva	kW	0.20	2.60	18.40	28.90
Potencia Enfriadora 1	kWh	0.10	2.60	18.10	29.30
Potencia Enfriadora 2	kWh	0.10	2.60	18.10	29.30
Potencia Caldera 1	kW	-	103.30	13.70	14.80
Potencia Caldera 2	kW	-	306.00	64.90	7.00
Contador de gas Cafeteria	m3	183.898,00	183.898,00	183.898,00	183.898,00
Contador de gas General	m3	1.365.696,00	1.365.696,00	1.365.696,00	1.365.696,00

Figura 4.22.- Imagen de la hoja de cálculo al juntar todos los datos

Una vez extraída toda la información de los archivos csv en un único archivo común, lo que se hace es tratar la información en caso de que sea necesario para obtener resultados secundarios, esto es si se sabe la potencia consumida por los transformadores eléctricos cada cinco minutos, se podrá obtener la energía en kWh.

Una vez tratados los datos, se procede a graficar toda la información en unas hojas de cálculo preparadas para que se muestre la información de la evolución del valor del consumo de gas cada 5 minutos a lo largo de cada día natural en una hoja de cálculo que presenta los datos diferenciando cada día dentro de cada mes.

De esa manera se puede con un único vistazo evaluar cómo ha sido el consumo del día, y en qué momentos ha aumentado o disminuido.

4.4.2.3 Tratamiento y graficado de datos de consumo de gas

A continuación se emplea la rutina que sirve para extraer los datos de consumo de gas cada 5 minutos y que permite realizar las gráficas diarias, Rutina 4. Con la que se obtienen gráficos como el representado en la Figura 4.23.

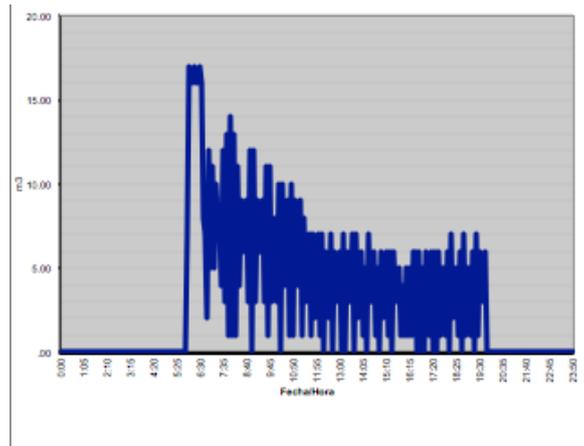


Figura 4.23.- Evolución del consumo de gas a lo largo de un día. Consumos en m³/5 minutos.

Y también se pueden ver los gráficos de manera conjunta con los del resto de días del mes, o bien de otros meses, como puede verse en la Figura 4.24 y la Figura 4.25.

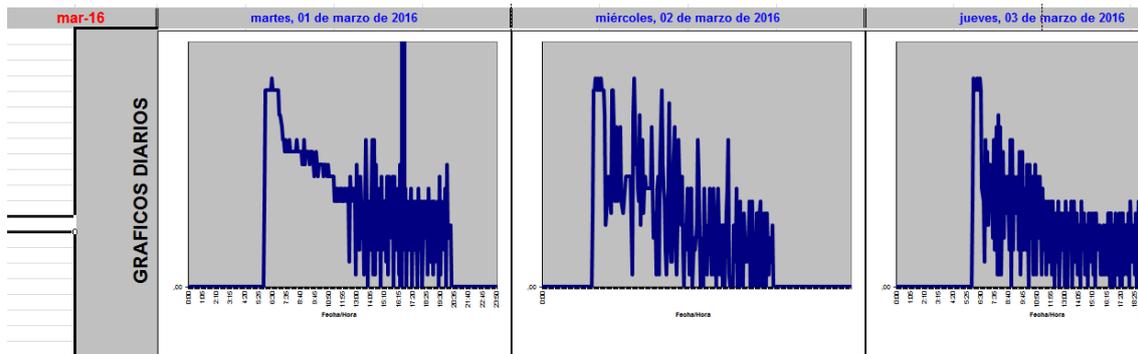


Figura 4.24.- Consumo de gas en varios días de un mes.

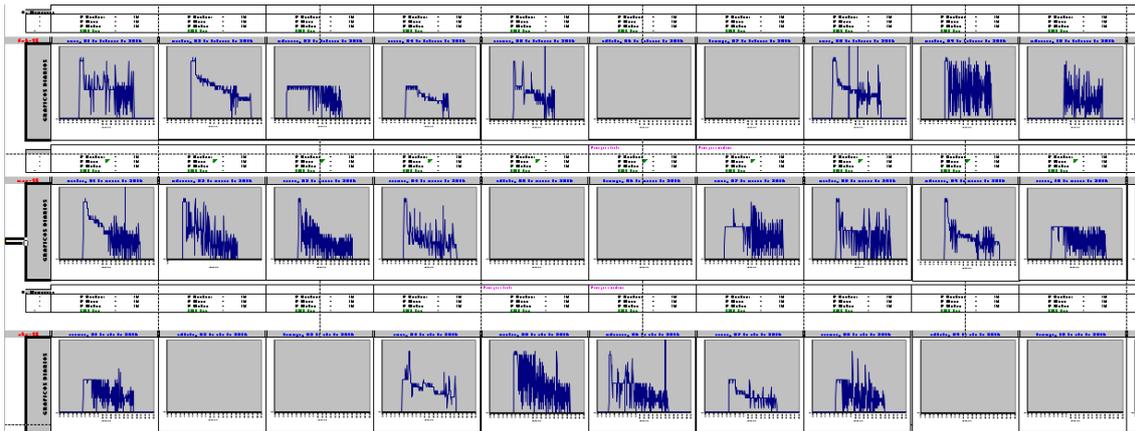


Figura 4.25.- Consumo de gas en varios días de varios meses

Observando los gráficos diarios se pueden realizar análisis de consumo de gas y ver en qué horas se producen las mayores demandas, o cómo evolucionan las demandas a lo largo del día, del mes, o del año, o incluso, compararlos con datos de consumo de años precedentes.

Con la información anterior de consumo de gas cada 5 minutos se tiene una idea de la evolución del consumo y en qué momentos es mayor, pero no se tienen datos sobre el consumo total en m^3 de un día.

Para disponer de esa información, se desarrolló una nueva rutina, Rutina 5, que nos da esa información y grafica el resultado para poder hacer comparativas entre días diferentes.

Con la rutina señalada anteriormente se obtienen gráficos como el representado:

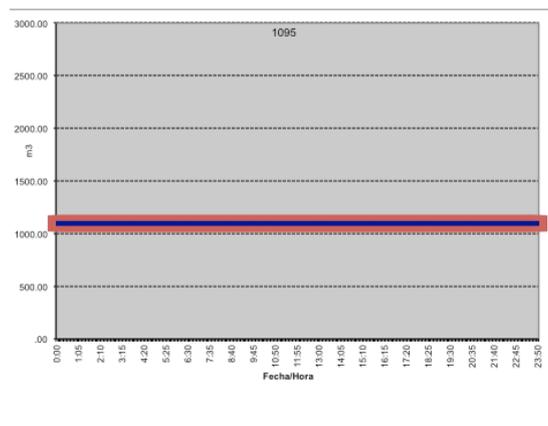


Figura 4.26.- Gráfico diario de consumo de gas en m^3

Y también se pueden ver los gráficos de manera conjunta con los del resto de días del mes, o bien de otros meses

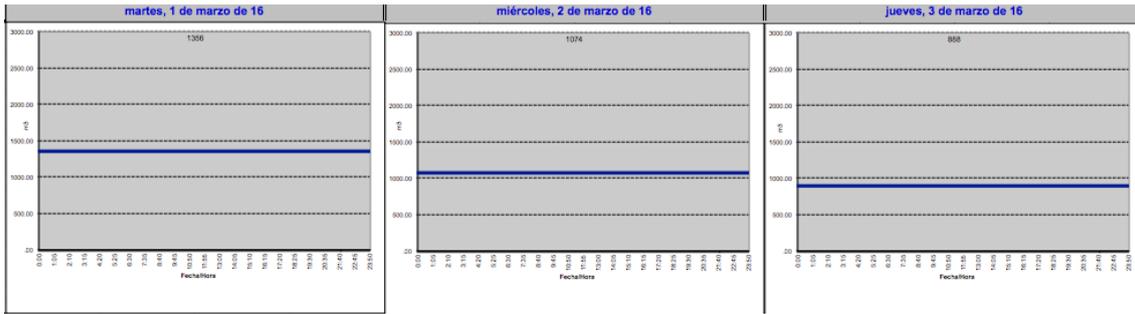


Figura 4.27.- Gráfico del consumo de gas en varios días de un mes

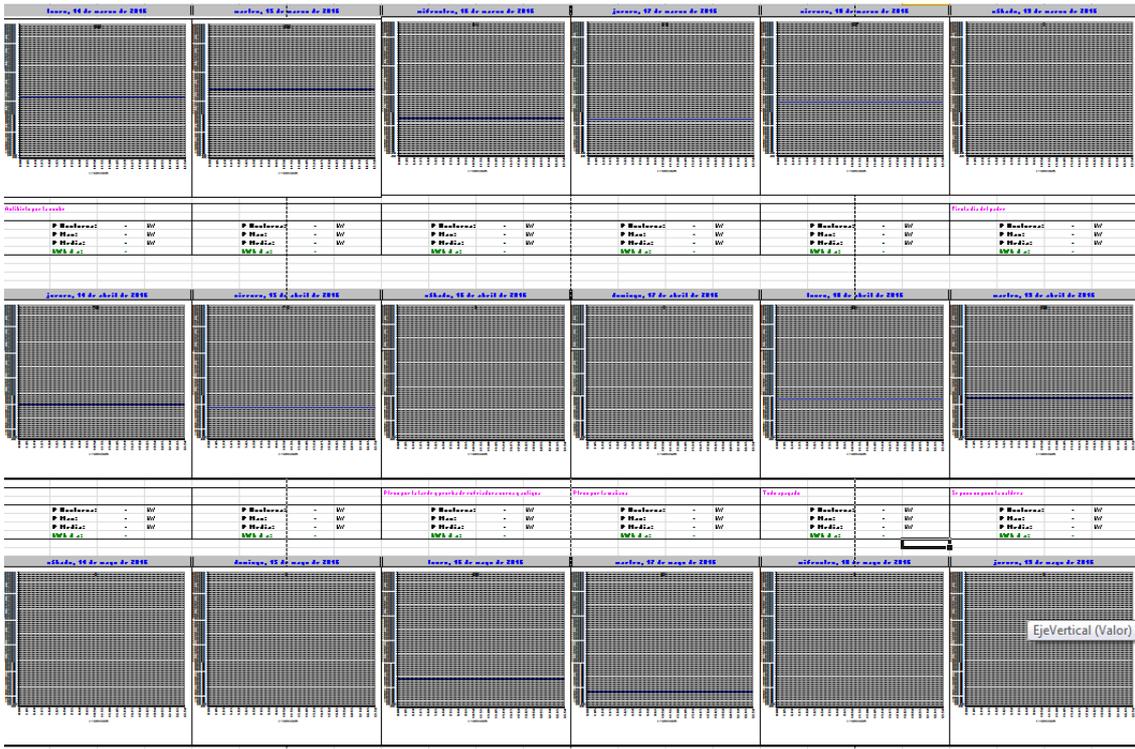


Figura 4.28.- Gráfico del consumo de gas en varios días de varios meses

4.4.2.4 *Tratamiento y graficado de datos de energía térmica producida en el sistema de calefacción.*

Con la información de producción de kWh del sistema de calefacción se va a poder ver en qué momentos se producen las mayores demandas y observar los kWh realmente producidos. Esos datos se obtienen a partir de los caudales y diferencias de temperatura entre la impulsión y el retorno en el sistema de calefacción.

La rutina que se utiliza para extraer los datos de kWh producidos y que permite realizar las gráficas es la Rutina 6 y con ella se obtienen gráficos como el representado:

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

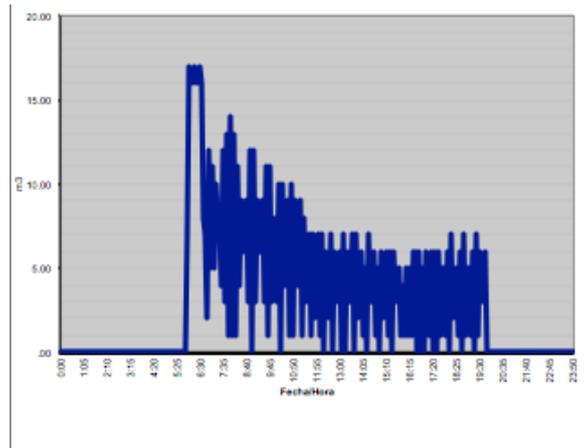


Figura 4.29.- Gráfico diario de producción de kWh térmicos

También se pueden ver los gráficos de manera conjunta con los del resto de días de mes, o bien de otros meses

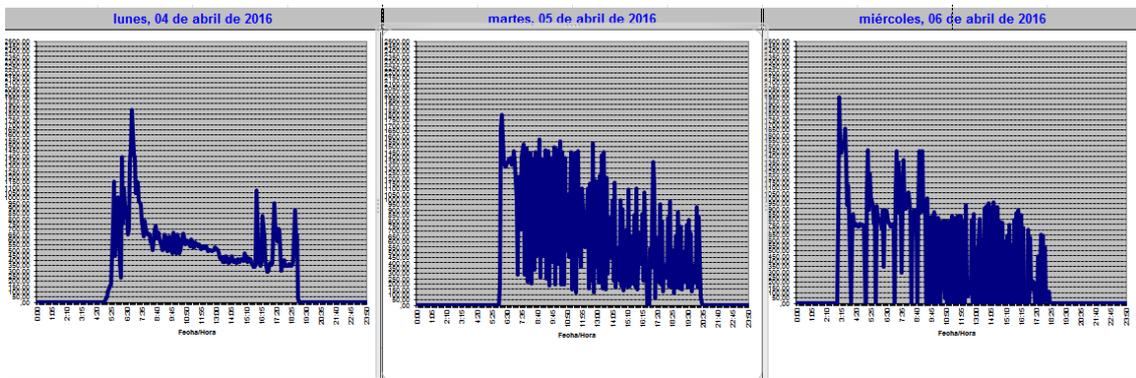


Figura 4.30.- Producción de energía térmica en varios días de un mes.

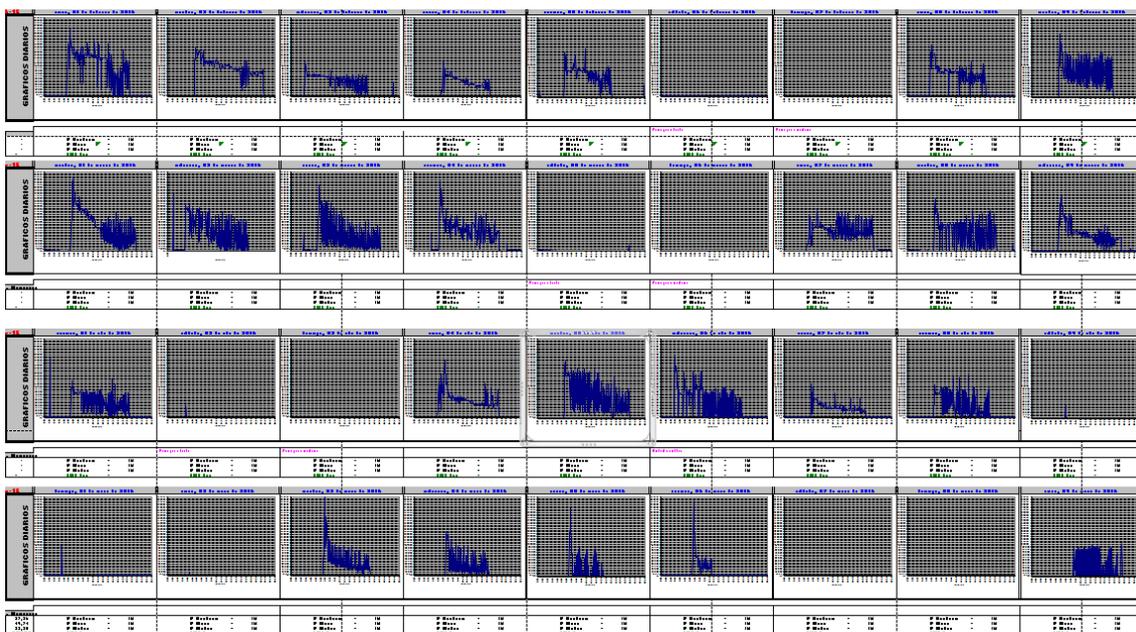


Figura 4.31.- Producción de energía térmica en varios días de varios meses

4.4.2.5 *Tratamiento y graficado de datos de consumo de agua*

También se desarrollaron dos rutinas, la Rutina 7, que permite el análisis de los datos de consumo de agua del edificio cada cinco minutos y la Rutina 8, que da como resultado el consumo diario total en m³. Los gráficos que se obtienen son similares a los anteriores.

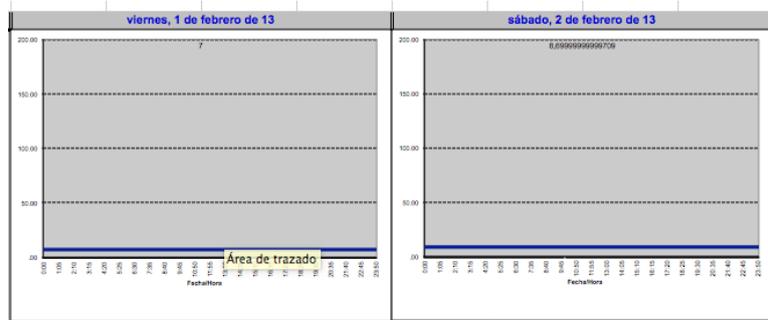


Figura 4.32.- Datos de consumo de agua diario durante dos días

4.4.2.6 *Tratamiento y graficado de datos de temperatura del agua en las calderas.*

Para estudiar la curva de enfriamiento del agua en el interior de las calderas y su posible influencia en la curva de arranque del día siguiente se realizó la Rutina 11, que permite estudiar la evolución temporal esas temperaturas de las dos calderas.

De esa rutina se obtienen resultados como el siguiente:

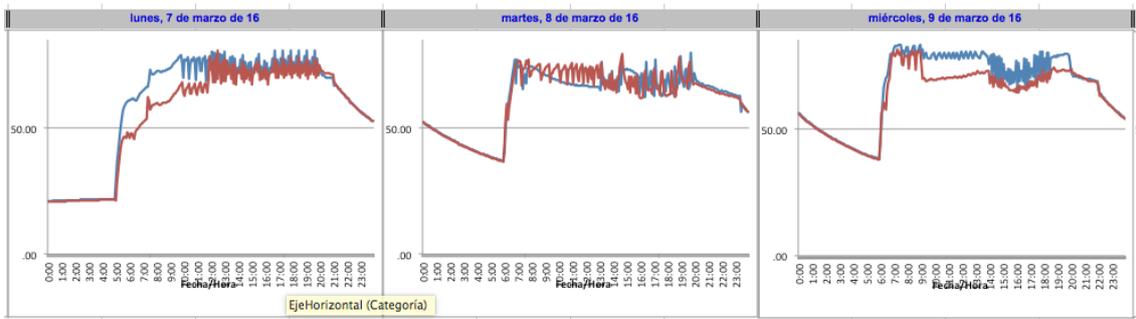


Figura 4.33.- Gráficos de la evolución de la temperatura del agua en el circuito de calefacción

4.4.2.7 *Tratamiento de la información: Realización de gráficos de energía eléctrica consumida en el edificio.*

A partir de los datos recogidos de potencia eléctrica en el sistema de gestión se puede analizar la evolución del consumo eléctrico del edificio. Mediante este análisis se puede observar cuándo entran en funcionamiento determinadas máquinas, o estudiar el perfil de consumo y funcionamiento del edificio.

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Para disponer de esa información, se creó una nueva rutina , Rutina 12, que nos da esa información y grafica el resultado para poder hacer comparativas entre días diferentes.

Con la rutina anterior se obtienen gráficos como el representado:

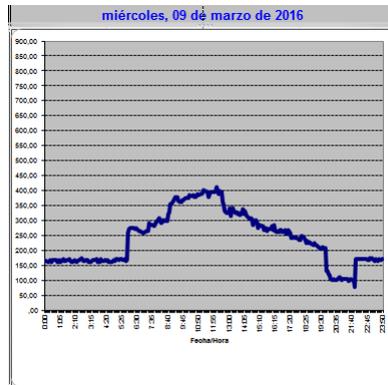


Figura 4.34.- Gráfico de la evolución del consumo de energía eléctrica en un día

También se pueden ver los gráficos de manera conjunta con los del resto de días de mes, o bien de otros meses.

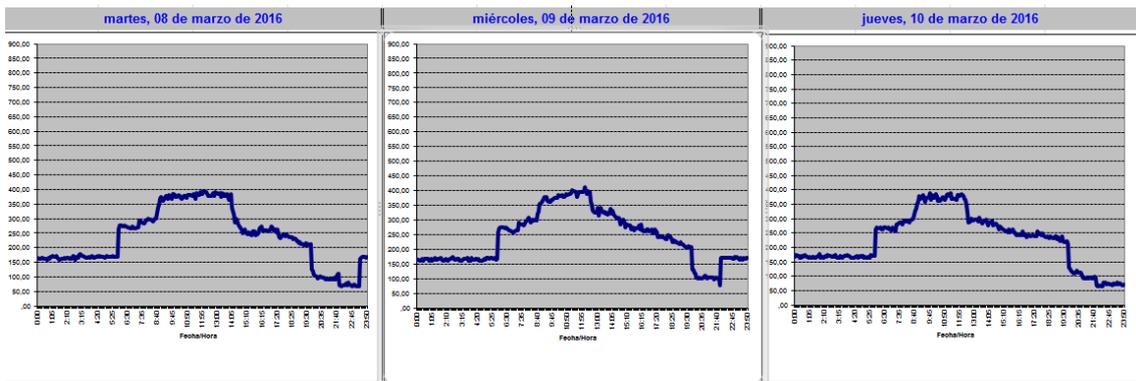


Figura 4.35.- Evolución del consumo de energía eléctrica durante varios días

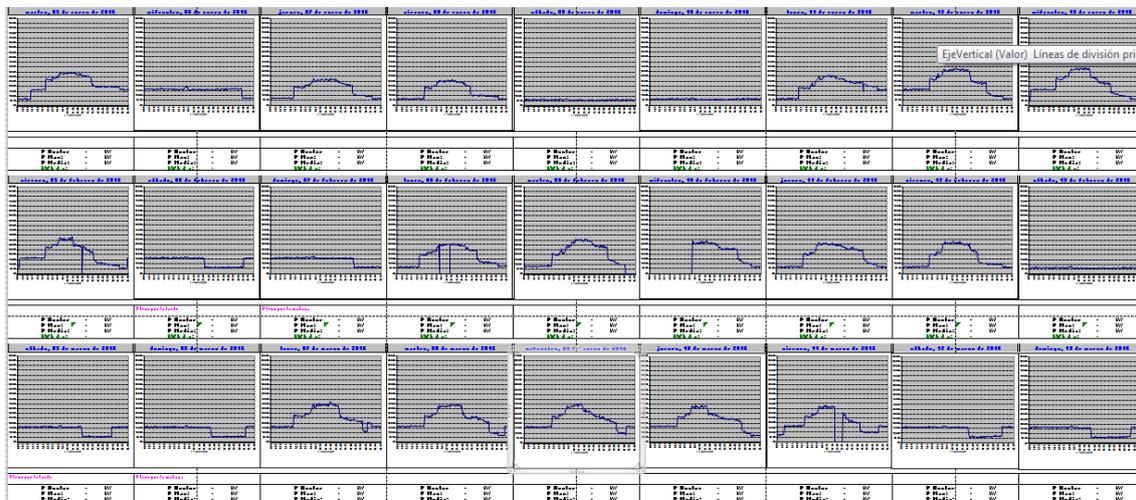


Figura 4.36.- Evolución del consumo de energía eléctrica durante varios días de varios meses

4.4.2.8 *Tratamiento de la información: Realización de gráficas de rendimientos en el sistema de calefacción en cada jornada*

Con la información disponible de consumo de gas y producción de energía térmica obtenida a partir del caudal de agua en el circuito de calderas y de la diferencia de temperaturas entre la impulsión y el retorno, se puede obtener el rendimiento del sistema de calefacción para cada día.

$$\eta_{\text{Sis Calefacción}} = \frac{\text{Energía Térmica Producida}}{\text{Energía consumida gas}}$$

Para disponer de esa información, se creó una nueva rutina que nos da esa información y grafica el resultado para poder hacer comparativas entre días diferentes, Rutina 9.

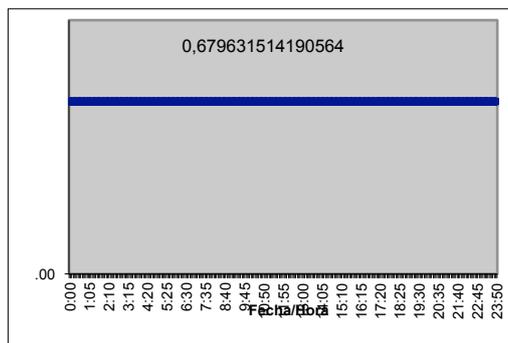


Figura 4.37.- Gráfico de rendimiento en un día de la instalación

También se pueden ver los gráficos de manera conjunta con los del resto de días de mes, o bien de otros meses

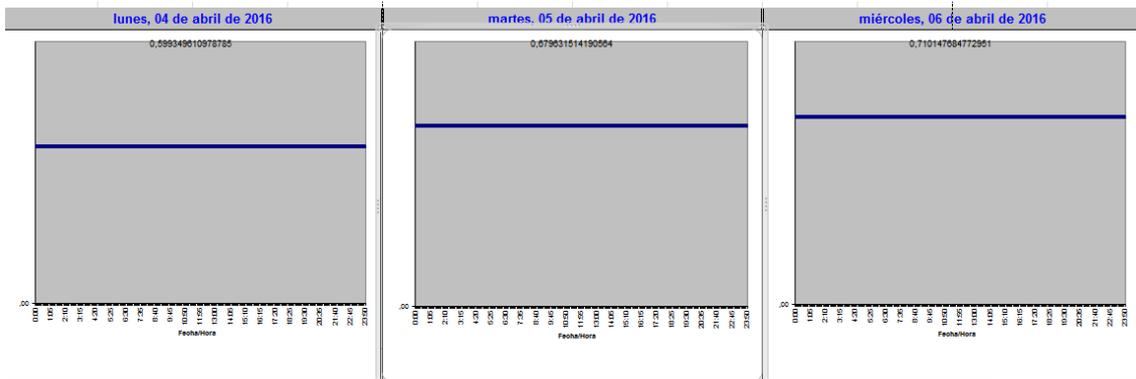


Figura 4.38.- Rendimiento en varios días de un mes

CAPÍTULO 5: FUNCIONAMIENTO EN MODO INVIERNO. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL EDIFICIO.

5.1 INTRODUCCIÓN

El edificio cuenta con un sistema de calefacción cuya función es la de poder suministrar el calor necesario a los sistemas de distribución de energía para que las temperaturas en las diferentes estancias del edificio cumplan con las condiciones de confort.

El sistema de acondicionamiento utilizado es mediante aire, ya que las temperaturas en Valladolid son bastante severas en invierno. De hecho Valladolid se encuentra en la zona climática D2 y a una altura de 704 m sobre el nivel del mar.

Tabla 5.1.- Zonas climáticas de la Península ibérica. Fuente [42]

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de gran canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Para obtener datos más concretos de temperaturas se puede recurrir a la AEMET, como puede verse en la Tabla 5.1.

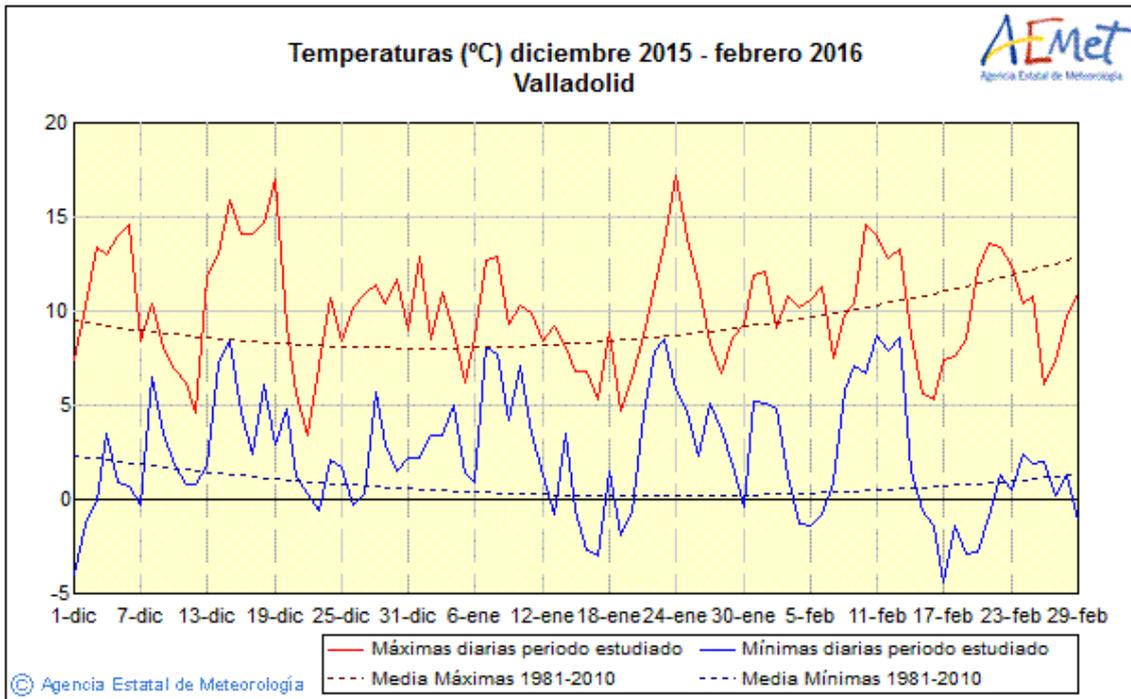


Figura 5.1.- Temperaturas diciembre 2015-febrero 2016 en Valladolid. Fuente [42]

Los datos mostrados en la figura son valores máximos y mínimos diarios y como se puede apreciar, existe un número significativo de días con valores mínimos muy próximos o incluso inferiores a 0°C.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN.

El sistema de calefacción está compuesto de dos calderas marca Vulcano Sadeca con una potencia calorífica de 1 046 kW, y con un quemador Sedical.

Las dos calderas están instaladas en paralelo, y las dos disponen de una válvula de dos vías que permite su comunicación con el colector de impulsión.

Aguas abajo se encuentran 4 circuitos de impulsión:

- Impulsión fancoils a planta baja, primera y segunda.
- Impulsión fancoils a planta tercer, y cuarta.
- Impulsión circuito climatizadores.
- Impulsión a circuito de radiadores.

Los dos primeros circuitos disponen de una válvula de tres vías mezcladora cuya función es realizar una mezcla de agua de impulsión y retorno para ajustar la temperatura de impulsión a un valor entre 40°C-60°C, temperatura que sería la ideal de impulsión para fancoils.

Cada uno de esos circuitos permite una programación independiente con un horario independiente.

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Cada circuito dispone de dos bombas en paralelo, al objeto de poder realizar mantenimientos y de minimizar las opciones de no disponibilidad del circuito.

Ninguna dispone de variador de frecuencia, con lo que cada bomba funciona al total de revoluciones para las que está diseñada.

Posteriormente nos encontramos con un grupo de tres bombas en paralelo cuya función es la de impulsar el agua hacia las calderas.

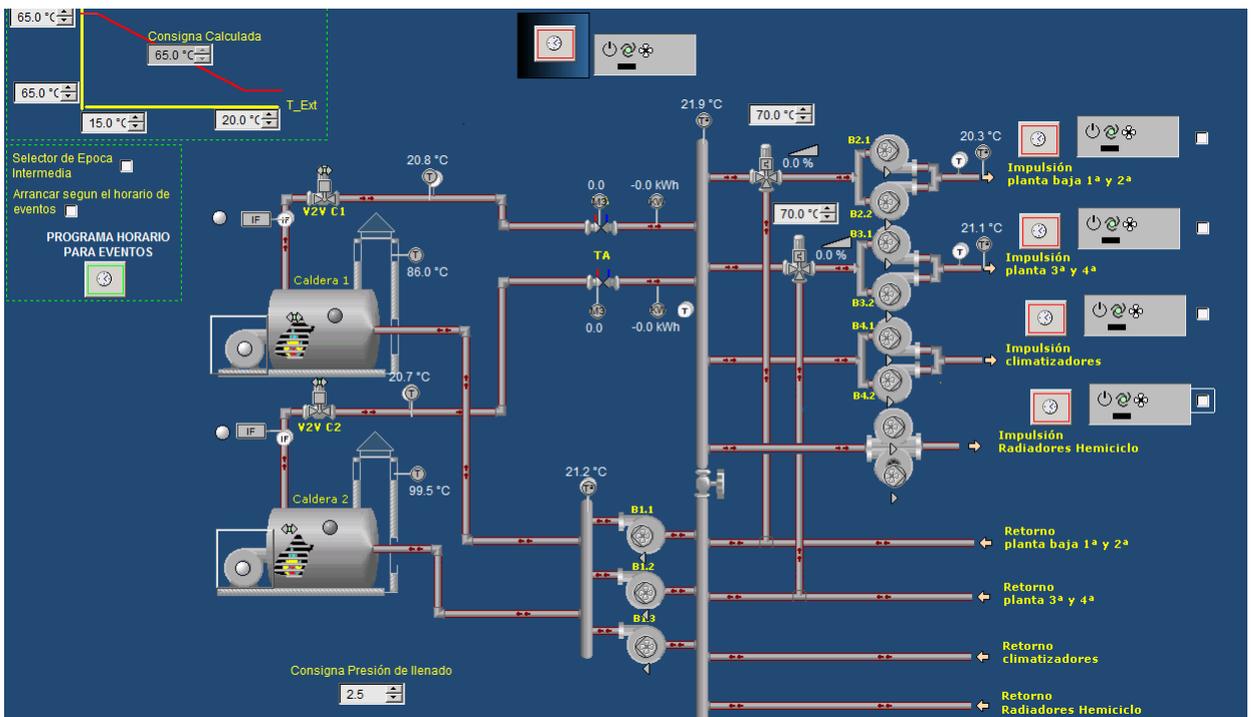


Figura 5.2.- Esquema de la instalación de calefacción.

Aguas abajo de cada uno de los circuitos anteriormente descritos se encuentran instalados equipos de intercambio agua-aire, del tipo fancoils o bien del tipo climatizadores que hacen un total de 250 fancoils y 27 climatizadores.

Existe un cuadro de control específico de Siemens para el control de los equipos de la sala de calderas

Tabla 5.2.- Principales características de las máquinas generadoras de calor.

EQUIPO	CANTIDAD	MARCA	MODELO
Caldera	2 Uds.	Vulcano Sadeca	1046
Quemador	2 Uds.	Sedical Weishaupt	G7/1-D;ZMD

5.2.1 Quemadores de gases

En los quemadores de las calderas se produce la mezcla aire-combustible, en nuestro caso se utiliza como combustible el gas natural, dentro de los combustibles fósiles es el que menor cantidad de CO₂ emite por unidad de energía térmica.

En la Tabla 5.3 se comparan las características de los gases producidos en la combustión de las calderas en función del tipo de combustible empleado.

Tabla 5.3.- Producción de gases para diferentes combustibles en quemadores [43].

	Producción CO ₂ g/kWh (PCI)	Producción H ₂ O g/kWh (PCI)	Contenido S %
Fuelóleo	283		<1
Gasóleo	273	87	<0.2
Butano	238	122	>0.05
Propano	233	126	<0.05
Gas Natural (metano)	204	155	0

Existen muchas formas de clasificar los quemadores de gas por ello, la Comisión de Utilización de la I.G.U. (International Gas Union) ha establecido una clasificación numérica que la caracteriza sus diferentes variables, independiente de que un mismo tipo de quemador pueda recibir de cada constructor una denominación diferente [43].

En esta clasificación, cada quemador queda designado por un grupo de 6 cifras, de las que cada cifra puede tener diversas variantes:

- 1º Cifra: Modo de formación de la mezcla aire-gas (7 variantes).
- 2º Cifra: Categorías de presión de alimentación en aire y en gas (7 variantes).
- 3º Cifra: Derrame de aire-gas en los orificios de salida (6 variantes).
- 4º Cifra: Manera de estabilizar la llama (4 variantes).
- 5º Cifra: Localización de la combustión (7 variantes).
- 6º Cifra: Precalentamiento o no del aire de combustión (3 variantes).

Tabla 5.4.- Significado cifras características quemadores. Fuente [43]

1ª Cifra Modo de formación de la mezcla aire-gas	2ª Cifra Presión del gas y del aire	3ª Cifra Características del derrame de la mezcla previa sin quemar, o del aire y gas por orificios separados	4ª Cifra Estabilización de la llama	5ª Cifra Localización de la combustión	6ª Cifra Precalentamiento del aire de combustión.
1 Mezcla previa total por inducción	1 Gas a baja presión (hasta 500 mm); aire a presión atmosférica.	1 Derrame por orificios sencillos	1 Por llamas auxiliares.	1 Llamas libres.	1 Quemador precalentamiento de aire.
2 Mezcla previa total por cámara de mezcla.	2 Gas a baja presión (hasta 500 mm); aire a presión.	2 Derrame paralelo	2 Por recirculación de gases calientes (turbulencia libre)	2 En pieza refractaria, generalmente cónica.	2 Quemador pudiendo funcionar con aire precalentado
3 Mezcla previa total antes del quemador.	3 Gas a alta presión (sobre 500 mm); aire a presión atmosférica.	3 Derrame convergente.	3 Por un obstáculo (turbulencia de obstáculo)	3 En contacto con refractario o de masa de granos de refractarios.	3 Quemador funcionando necesariamente con aire caliente.
4 Mezcla previa parcial por modulación.	4 Gas a alta presión (sobre 500 mm); aire a presión.	4 Derrame giratorio.	4 Por una superficie refractaria	4 Sobre superficie refractaria.	
5 Mezcla previa parcial por cámara de mezcla	5 Gas reducido sensiblemente a la presión atmosférica; aire a presión	5 A través de refractario poroso.	0 Llamas libres sin ningún artificio de estabilización.	5 En túnel de combustión refractaria.	
6 Mezcla previa parcial antes del quemador	6 Gas reducido a la presión atmosférica.	6 Sobre rotor giratorio.		6 En tubo metálico o cerámico.	
7 sin mezcla previa.	7 Mezcla aire-gas a presión.			7 En contacto con masa catalítica.	

Los llamados “quemadores de mezcla previa”, son aquellos en los que parte o bien la totalidad del aire necesario para la combustión completa, se mezcla con el gas a la entrada del quemador o inmediatamente antes de iniciarse la combustión.

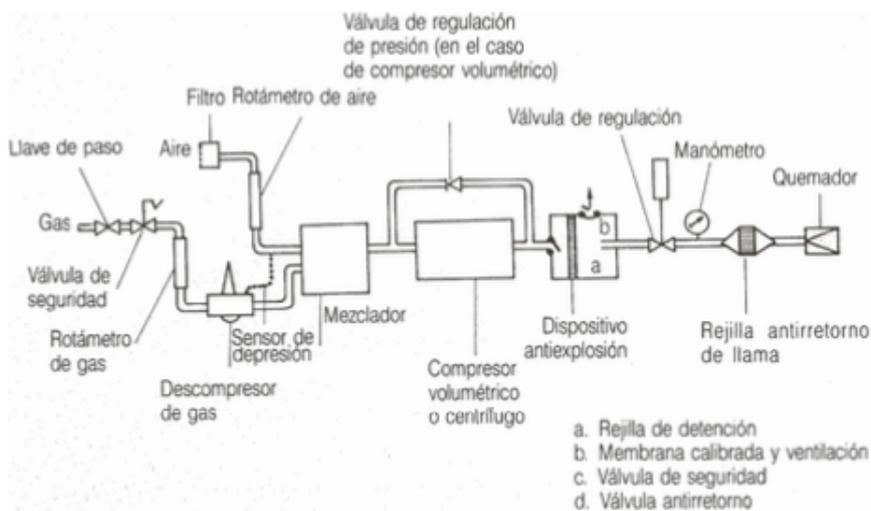


Figura 5.3.- Esquema de la cámara de mezcla de un quemador de mezcla previa. Fuente [43]

El elemento más importante del quemador es el “inyector”, ya que es el accesorio más delicado y tiene una influencia primordial sobre todo lo que se refiere al suministro del caudal preciso de gas.

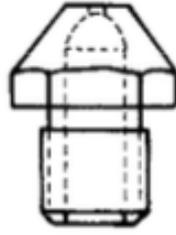


Figura 5.4.- Croquis de inyector de gas. Fuente [43]

El caudal que atraviesa el inyector viene dado por:

- La sección o área libre de paso (S).
- La velocidad con que lo atraviesa el gas (V).
- La densidad relativa y, por tanto, el peso específico del gas (ρ)
- La temperatura de éste (T1).
- Diferencia de presión en el inyector (ΔP).

$$V = C_1 \cdot \left[\frac{(2 \cdot g \cdot \Delta P)}{\rho} \right]^{1/2}$$

$$\text{Caudal} = C_2 \cdot S \cdot V$$

Siendo:

C_1 : El coeficiente de frotamiento, con valor de 0.7 a 0.9 sin dimensiones.

C_2 : Coeficiente de contracción cuyo valor oscila entre 0.5 y 0.95.

Corrección por temperatura: Si se trabaja a una temperatura diferente a $T_0 = 273^\circ \text{K}$ (0°C) el caudal se debe corregir multiplicando por un factor, que se determina de la siguiente manera: $(T_0/T_1)^{1/2}$.

A su vez los quemadores con mezcla previa de aire se pueden clasificar en:

- Quemadores de llama libre:
 - Quemadores de antorcha.
 - Quemadores de rampa.
 - Quemadores de corona.
 - Quemadores de venturi acodado.
 - Quemadores refractarios.
- Quemadores catalíticos.

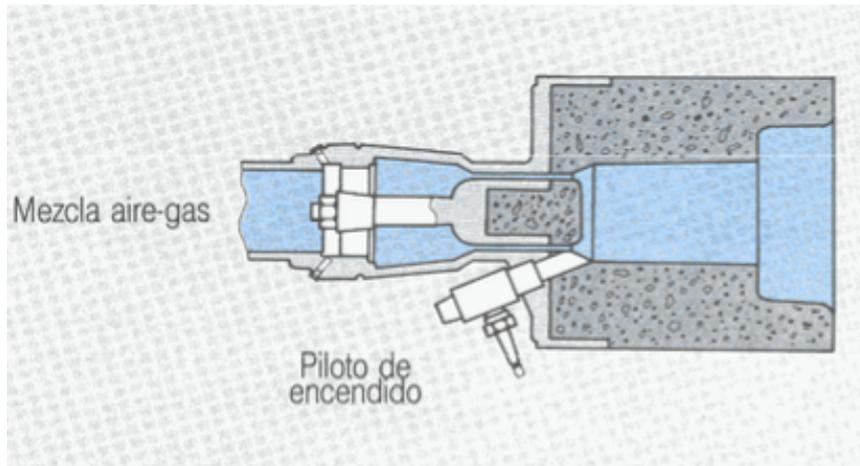


Figura 5.5 y en la Figura 5.6 se muestran los croquis de algunos de estos quemadores.

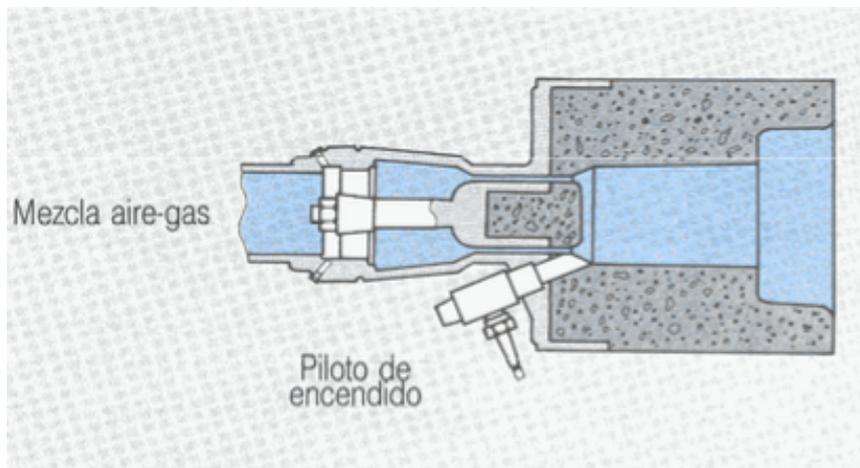


Figura 5.5.- Croquis de quemador con pieza refractaria. Fuente [43]

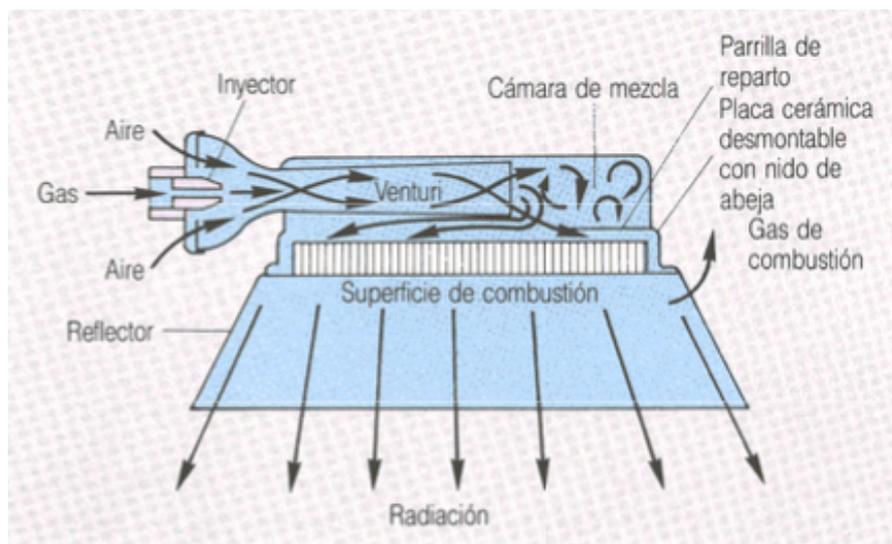


Figura 5.6.- Croquis de quemador de radiación infrarroja. Fuente [43]

En los llamados “quemadores sin mezcla previa”, que son aquellos en los que la mezcla entre combustible y comburente se realiza en la descarga a la cámara de combustión, se tienen dos sistemas de combustión:

- Si la mezcla se realiza al inicio de la combustión, el gas y el aire entran por separado a la combustión. No suele emplearse para generadores de calor.
- Cuando la mezcla se realiza en la cabeza del quemador, el gas vertido en la cámara de combustión tiene la composición correcta. En estos quemadores, se produce una turbulencia elevada, que produce una mezcla rápida, de modo que también la combustión es rápida y la llama es corta y de elevada temperatura.

En la Figura 5.7, la Figura 5.8 y la Figura 5.9 se muestran algunos de los croquis de este tipo de quemadores.

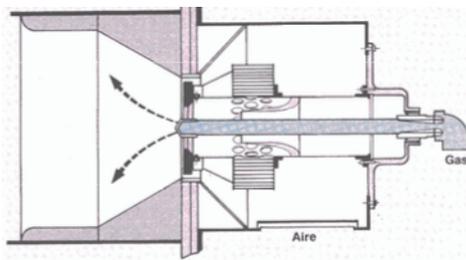


Figura 5.7.- Croquis de quemador de turbulencia radial. Fuente [43]

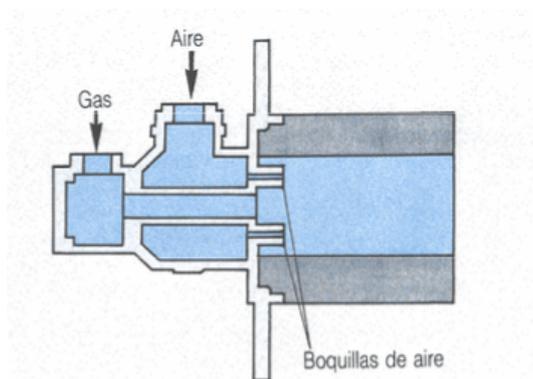


Figura 5.8.- Croquis de quemador de flujo paralelo. Fuente [43]

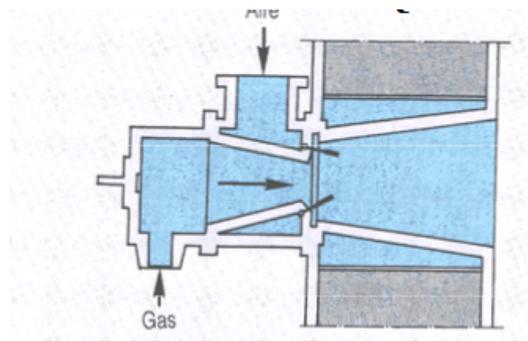


Figura 5.9.- Croquis de quemador de corriente convergente de aire. Fuente [43]

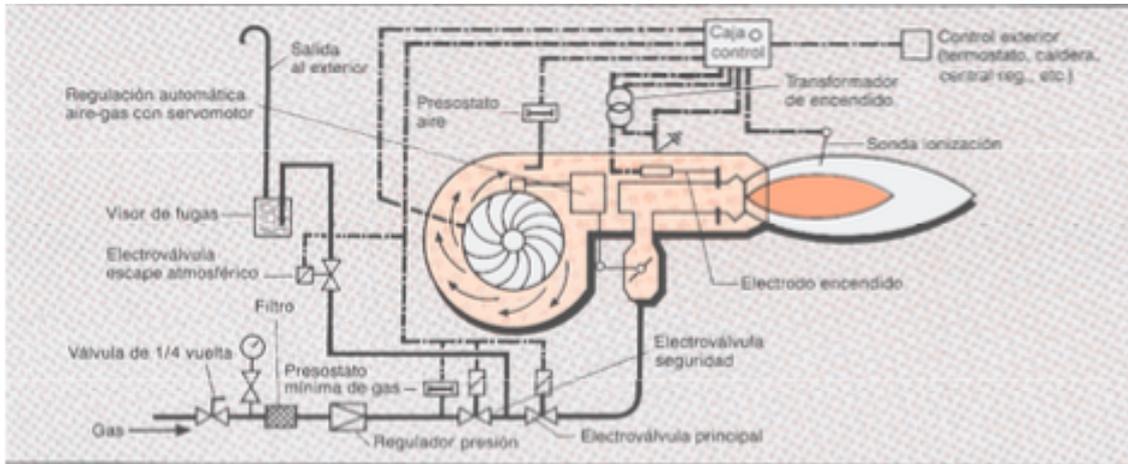


Figura 5.10.- Croquis de un quemador modulante. Fuente [43]

En el quemador modulante en concreto utilizado en la instalación, Marca Sedical-Weishaupt G7/1-D;ZMD. La regulación del aire y del combustible se realiza en función del combustible, del tamaño del quemador y de la demanda.

En nuestro caso trabaja con regulación lenta de la potencia, utilizando una luneta de regulación para controlar el flujo de aire y de gas. El tiempo de marcha de una modificación de potencia es como máximo de 42 segundos.

En la Figura 5.11, se pueden ver las emisiones de los quemadores en relación a los valores límite de las normas alemanas TA-Luft, que es la norma que regula el nivel de emisiones al aire (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) y LRV'92 Ordenanza sobre el control de la contaminación del aire (Luftreinhalte-Verordnung).

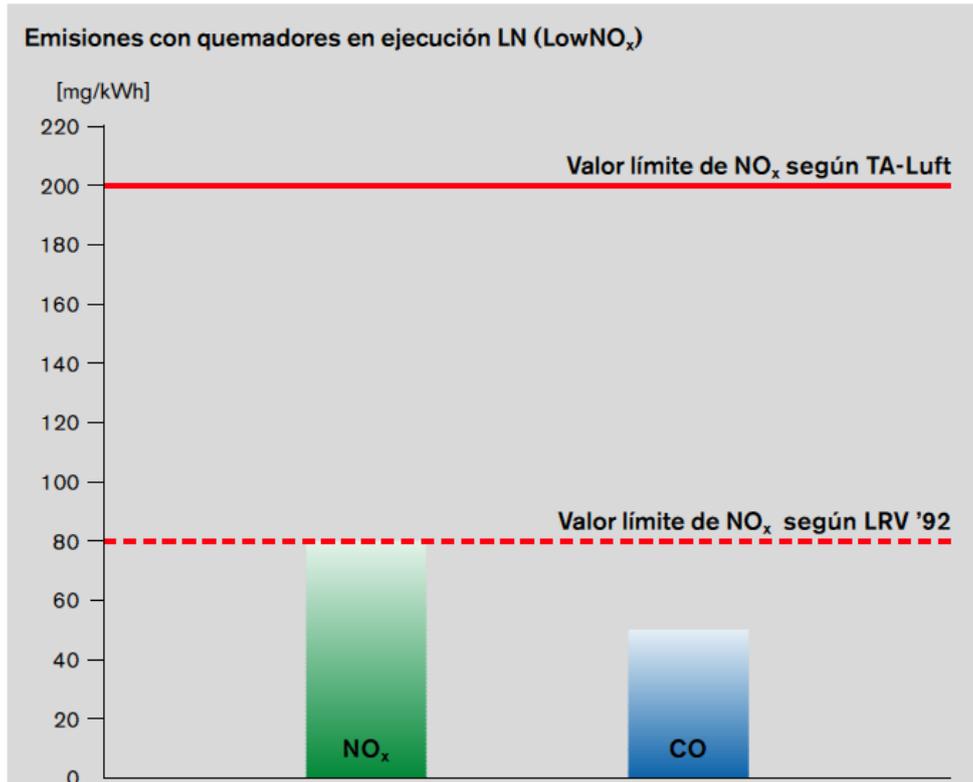


Figura 5.11.- Valores de las emisiones de Nox y CO en quemadores de la marca Weishaupt. Fuente [44]

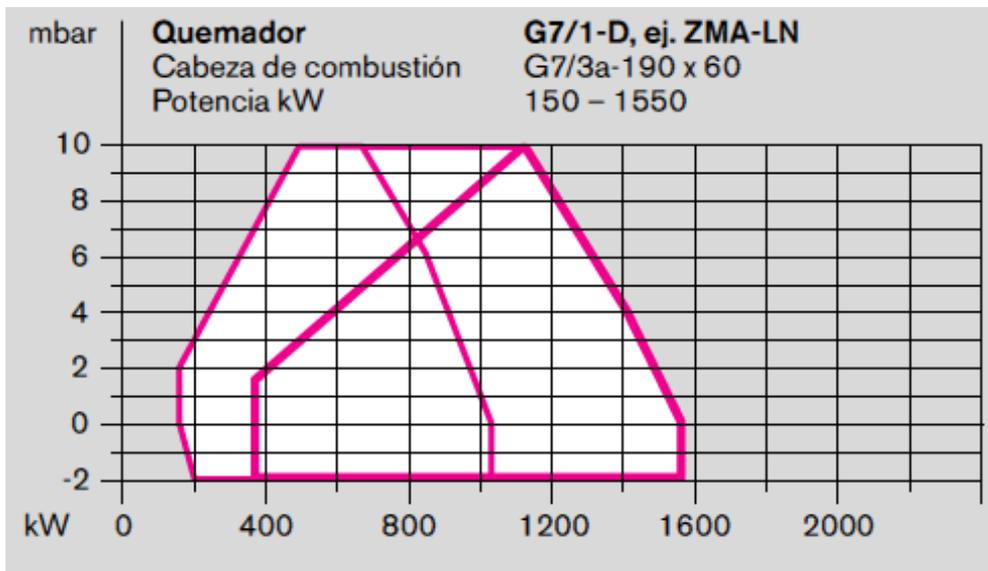


Figura 5.12.- Presión combustible vs Potencia Quemador. Fuente [44]

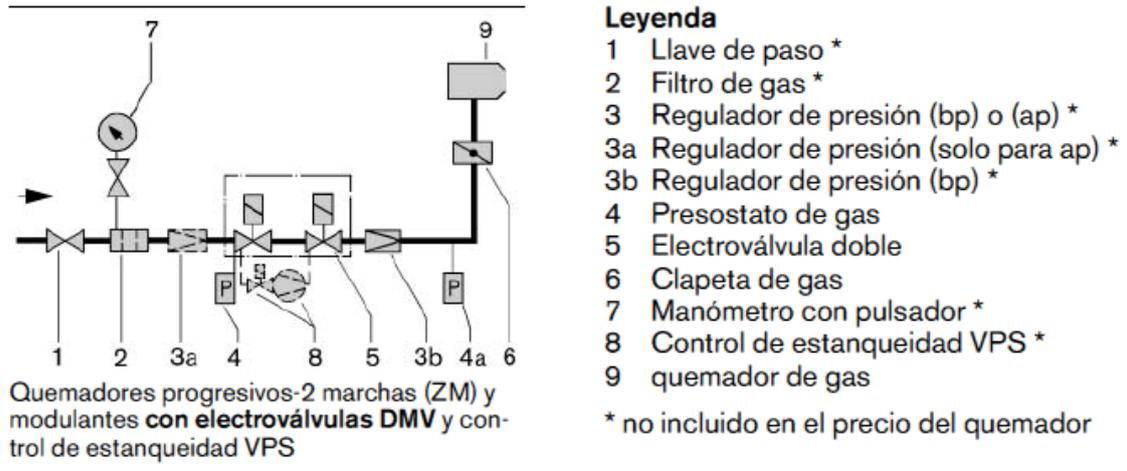


Figura 5.13.- Esquema de montaje de rampa de gas. Fuente [44]



Figura 5.14.-.- Fotografía quemador caldera instalada

5.3 MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.

En este apartado se procede a estudiar el sistema de calefacción al objeto de calcular el rendimiento del mismo en función tanto de diferentes puntos de consigna, como modos de funcionamiento y variables externas, temperatura, humedad relativa y demanda energética.

Para ello se consideran 3 posibles temperaturas de consigna, 80°C, 75°C y 70°C, las cuales corresponden a temperaturas asignadas como objetivo al sistema de control de las calderas y es la temperatura del agua de impulsión de calefacción a la cual se va a mantener el sistema siempre que pueda.

Además el sistema cuenta con la posibilidad de habilitar dos posibles modos de funcionamiento:

-OM1, Modo 1, en el que el selector de “época intermedia” está habilitado, y que hace que las dos calderas funcionen como si fueran una única caldera, tratando de mantener la demanda energética las dos calderas de forma simultánea.

-OM0, Modo 0, en el que el selector de “época intermedia” está deshabilitado, y que hace que las dos calderas funcionen como si fueran una como maestra y otra como esclava. La demanda energética la intenta cubrir una de ellas, y la otra entra en su apoyo si no pudiera realizarlo la primera.

El estudio realizado consiste en evaluar la potencia térmica producida por las calderas y compararlo con la energía consumida en forma de gas natural, al objeto de obtener el rendimiento de la instalación.

5.3.1 Variaciones realizadas en el sistema.

Al comienzo de la temporada de calefacción 2015-2016 se plantearon una serie de modificaciones en el sistema de gestión de Siemens al objeto de aumentar la eficiencia del sistema. Dichas modificaciones fueron:

-Programación de un selector de “época intermedia”. Consistente en permitir la elección del modo de funcionamiento del sistema de calderas, y que ya ha sido descrito previamente.

OM1, Modo 1.- (ON), Época intermedia, en la cual las dos calderas funcionan de manera simultánea, no existe una caldera maestra, y las dos calderas tratan de cubrir los picos de demanda.

OM0, Modo 0.- (OFF), Época NO intermedia, en la cual una caldera funciona como caldera maestra y funciona al iniciar la calefacción, y únicamente cuando no puede cubrir la demanda, es cuando comienza a funcionar la segunda caldera.

-Programación de una “curva de temperatura de consigna con compensación de temperatura exterior”. Consiste en la programación de la temperatura de consigna de la caldera en función de la temperatura exterior, de modo que al aumentar la temperatura exterior disminuya la temperatura de consigna, al objeto de disminuir el consumo energético.

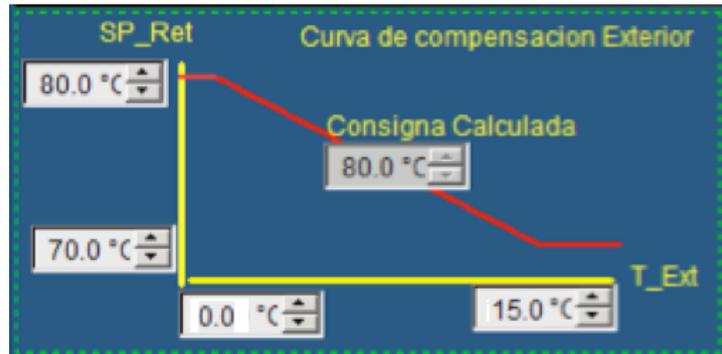


Figura 5.15.- Curva de compensación de temperatura de consigna (SPT) vs Temperatura exterior(OT)

El estudio de la influencia de la curva de temperatura se realiza de manera indirecta al estudiar el efecto de las temperaturas de consigna sobre el rendimiento.

El estudio realizado trata de analizar las ventajas y el ahorro conseguido, si es que se produce, al variar dos parámetros de la instalación:

1. – (SPT.- Set Point Temperature) Temperatura de consigna de la instalación de calefacción, manteniendo la misma constante durante cada jornada de análisis.
2. – (OM.- Operation Mode) Modo de funcionamiento (época intermedia sí o no).

5.4 INDICADORES ENERGÉTICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN.

Utilizando el hardware y el software descrito en el Capítulo 4 de esta Tesis se consigue obtener los valores de los siguientes parámetros cada 5 minutos:

1. Temperatura de aire exterior.
2. Humedad de aire exterior.
3. Temperaturas de salida del agua en las calderas.
4. Caudales de agua en los circuitos de las calderas.
5. Temperaturas del agua a la entrada y salida de las calderas.
6. Valores del Contador de gas y Consumo de gas diario.
7. Energía Térmica producida en las calderas (en función del caudal de agua y las diferencias de temperatura en la entrada y salida de las mismas).
8. Energía teórica que deberían haber dado en una jornada las calderas.
9. rendimiento de las calderas.

A continuación se representan diferentes gráficos de cómo van variando las variables de las cuales se adquieren datos a lo largo de un día.

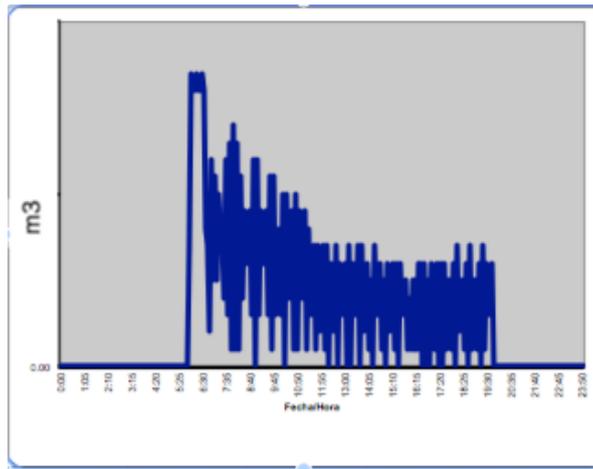


Figura 5.16.- Evolución del consumo de gas durante un día

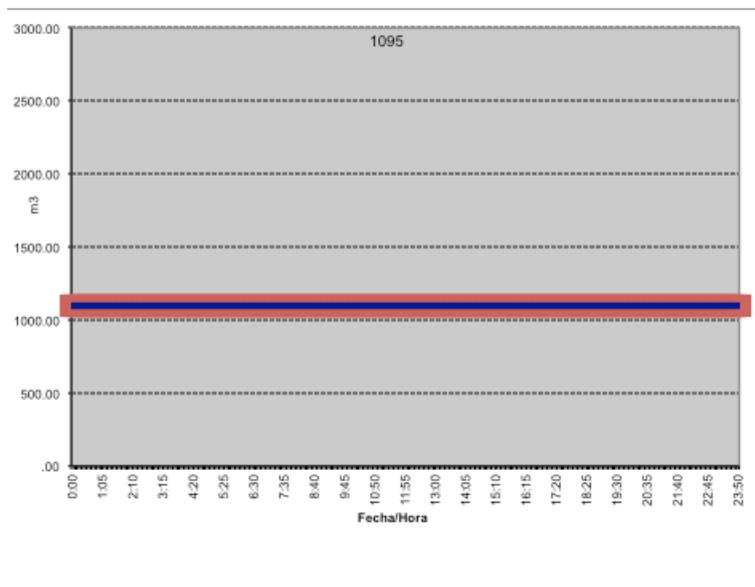


Figura 5.17.- Totalización del consumo de gas durante un día

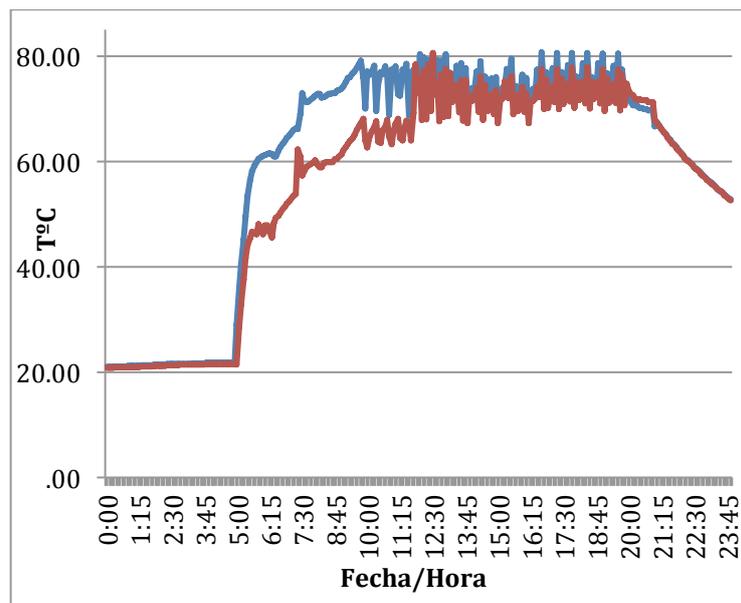


Figura 5.18.- Evolución de la temperatura de salida en las calderas durante un día

Los resultados obtenidos para cada 5 minutos tienen un formato como el que sigue:

MARZO		TT_2016_03_01_00_10_00
Caudal Caldera 1	m3/h	50.60
Caudal Caldera 2	m3/h	55.10
Humedad de aire exterior	%RH	55.10
Temp. Despacho President	°C	18.90
Temp Salida Condens. Adiab.	°C	17.60
Tª Entrada Condens. Adiab.	°C	17.60
Tª Entrada Enfriadora nueva	°C	27.20
Tª Salida Circ 3 y 4-Frío	°C	15.50
Tª Salida Circ Baja 1 y 2-Fr	°C	18.20
Tª Colector de Imp-Frío	°C	30.50
Temp Colector de Ret.-Frío	°C	29.20
Temp Salida Enf nueva	°C	30.40
Temp Salida Enfriadora 1	°C	30.30
Temp Salida Enfriadora 2	°C	30.60
Temp Salida Circ 3 y 4-Calor	°C	52.90
Tª Salida Circ Baja 1 y 2-Cal	°C	47.00
Temp Colector de Imp.-Calor	°C	57.80
Temp Colector de Ret.Calor	°C	57.80
Temp Salida Caldera 1	°C	58.00
Temp Salida Caldera 2	°C	57.70
Tª Amb Planta 1 M5 Bibliot	°C	22.60
Temp Amb Planta 2 IZQ M1	°C	22.10
Temp amb Planta 3 Central	°C	21.10
Temp amb Planta 4 Central	°C	20.10
Temp Amb Planta B M5	°C	21.40
Temperatura aire exterior	°C	1.40
Potencia real total-Analz.GE	kW	-
Potencia real total-Analz.Poliv	kW	28.30
Potencia real total-Trafo 1	kW	80.00
Potencia real total-Trafo 2	kW	81.00
Potencia actual condensador	kW	8.10
Potencia actual enf nueva	kW	28.90
Potencia Enfriadora 1	kWh	27.80
Potencia Enfriadora 2	kWh	27.80
Potencia Caldera 1	kW	22.50
Potencia Caldera 2	kW	1.20
Contador de gas Cafeteria	m3	187 814.00
Contador de gas General	m3	1 414 685.00
Contador de agua General	m3	96 183.10
Caudal Enfriadora 1	m3/h	-
Caudal Enfriadora 2	m3/h	-
Caudal condensacion	m3/h	174.30
Caudal Enfriadora nueva	m3/h	7.90
P T1+P T2	kW	161.00

Consumo agua cada 5min	m ³	-
Consumo agua diario	m ³	96 193.40
Consumo GAS cada 5min	m ³	-
Consumo GAS diario	m ³	1356.00
Potencia Calderas	kW	23.70
Energía Term. Cald. cada 5 min	kWh	1.93
Energía Teórica Calderas	kWh	15 260.02
Rendimiento $\eta_{real/Eteorica}$		0.74

Ese conjunto de 43 variables queda registrado y se utilizan los datos recogidos correspondientes a nuestro estudio durante los meses en los cuales el sistema de calefacción está funcionando.

5.5 CÁLCULO DE LOS RENDIMIENTOS DE LA INSTALACIÓN.

En este apartado se indica cómo se realizan los cálculos para obtener el rendimiento de la instalación de calefacción diariamente.

Para ello, lo que se hace es comparar la energía térmica producida realmente en la instalación, obtenida a partir de los datos de temperatura de impulsión y retorno en las calderas y el caudal que circula por ellas.

La potencia de calentamiento (\dot{Q}_{Cald}) proporcionada por las calderas se puede obtener mediante un balance de energías aplicado al sistema, para ello se pueden utilizar los valores del flujo másico del agua a calentar (\dot{m}), así como su temperatura a la entrada (T_i) y a la salida (T_o) de la caldera, tal y como se muestra en la ecuación siguiente:

$$\dot{Q}_{Cald} = \dot{m} \cdot c \cdot (T_o - T_i) \quad \text{Ecuación 5.1}$$

donde c es la capacidad calorífica específica del agua ($4.19 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) que es el fluido caloportador.

Con la potencia de calentamiento obtenida de la Ec. 5.1 se puede obtener la demanda energética en kWh de un día ($ED_{Cald,d}$) realizando la suma de las potencias en cada intervalo de tiempo (5 minutos) de todo un día.

$$ED_{Cald,d} = \sum_0^{288} \dot{Q}_{Cald} \cdot \Delta t \quad \text{Ecuación 5.2}$$

La energía térmica producida en la combustión del gas natural (E_{GN}) se obtiene a partir de los datos del contador de gas que son monitorizados cada 5 minutos, mediante la Ec. 5.3, se obtiene el consumo de gas cada cinco minutos calculando la diferencia con el valor en los cinco minutos inmediatamente anteriores.

$$Consumo_{gas} = Consumo_{t1} - Consumo_{t0} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Las unidades de $Consumo_{gas}$ serían [$m^3/5min$].

La energía térmica producida se obtiene con la Ec. 5.4:

$$E_{GN} = PCI_{gas} \cdot Consumo_{gas} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde PCI_{gas} es el poder calorífico inferior del gas natural, obtenido de la factura de la compañía de gas, y en base a la altura del punto de suministro, la presión de suministro y la composición de gas natural, que es igual a $11.54 \text{ kWh}/m^3$.

Ahora se calcula la energía producida en la combustión en la caldera durante todo un día, según la Ec. 5.5 y que tiene como unidades kWh.

$$E_{GN,d} = \sum_0^{288} E_{GN} \cdot \Delta t \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Y de aquí se pueden obtener los valores de rendimiento diario de la instalación comparando la energía térmica obtenida en un día, con la energía producida en la combustión del gas natural consumido durante ese mismo día.

$$\eta_d = \text{Rend} = \frac{ED_{Cald,d}}{E_{GN,d}} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Utilizando estas ecuaciones, se han obtenido los valores de rendimiento de la instalación de calefacción comparando la energía térmica diaria producida en las calderas $ED_{Cald,d}$ y de la energía obtenida en un día en la combustión del gas natural $E_{GN,d}$ durante 98 días distintos.

5.6 ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron tomas de muestras de datos en dos periodos durante el año 2016, del 1/3/2016 al 17/05/2016 y del 11/10/2016 al 28/12/2016, haciendo un total de 98 muestras, con todos esos datos se puede obtener un resumen de los resultados para cada uno de los días, tal y como se recoge en la Tabla 5.5, en la que se pueden ver los datos diarios de fecha, temperatura de consigna (SPT), modo de funcionamiento (OM), temperatura media diaria exterior (OT), humedad relativa media diaria exterior (HR), demanda energética de la instalación ($ED_{Cald,d}$), energía térmica producida por el gas natural en su combustión ($E_{GN,d}$), y el rendimiento diario de la instalación.

Tabla 5.5.- Resultados experimentales del funcionamiento del sistema de calefacción: temperatura de consigna (SPT), modo de funcionamiento (OM), temperatura media diaria exterior (OT), humedad relativa media diaria exterior (HR), demanda energética de la instalación ($ED_{Calc,d}$), energía térmica producida por el gas natural en su combustión ($ED_{GN,d}$), y el rendimiento diario de la instalación (Rend).

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	$ED_{Cald,d}$ (kWh)	$E_{GN,d}$ (kWh)	Rend.
1	1/3/16	80	1	3.15	50.20	11,467.81	15,497.04	0.74
2	2/3/16	75	0	4.98	59.93	9,566.00	12,423.38	0.77

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED_{Cald,d} (kWh)	E_{GN,d} (kWh)	Rend.
3	3/3/16	70	1	4.40	55.02	7,307.58	10,292.37	0.71
4	4/3/16	80	0	3.32	67.87	9,779.28	11,240.55	0.87
5	7/3/16	75	1	1.80	68.52	10,015.03	15,174.29	0.66
6	8/3/16	70	0	2.49	56.29	8,813.78	12,591.11	0.70
7	9/3/16	80	1	2.99	59.41	8,241.35	12,486.89	0.66
8	10/3/16	75	0	2.26	56.57	6,207.03	11,494.50	0.54
9	11/3/16	70	1	2.57	53.05	5,644.17	10,649.38	0.53
10	14/3/16	80	0	2.16	51.67	10,397.88	15,519.22	0.67
11	15/3/16	75	1	2.47	53.86	12,320.11	17,600.16	0.70
12	16/3/16	70	0	3.80	49.23	7,080.43	13,616.21	0.52
13	17/3/16	80	1	4.10	53.87	8,331.79	9,576.77	0.87
14	18/3/16	75	0	4.11	58.26	5,419.61	9,508.09	0.57
15	21/3/16	70	1	4.42	67.01	6,570.14	11,945.71	0.55
16	22/3/16	80	0	4.42	62.44	8,514.01	10,257.84	0.83
17	23/3/16	75	1	3.35	53.52	5,622.11	9,067.92	0.62
18	28/3/16	75	1	5.52	71.48	8,200.23	13,898.69	0.59
19	29/3/16	70	0	7.94	68.16	6,913.62	9,876.60	0.70
20	30/3/16	80	1	8.35	52.88	6,178.13	9,964.73	0.62
21	31/3/16	75	0	4.30	60.04	8,596.13	11,020.68	0.78
22	1/4/16	70	1	3.79	47.79	7,015.18	10,021.69	0.70
23	4/4/16	80	0	4.87	74.25	7,928.88	13,214.80	0.60
24	5/4/16	75	1	5.14	58.08	10,537.44	15,496.24	0.68
25	6/4/16	70	0	5.53	52.42	8,673.28	12,215.89	0.71
26	7/4/16	80	1	6.38	56.41	4,033.05	8,230.71	0.49
27	8/4/16	75	0	4.35	49.49	5,775.96	8,494.06	0.68
28	11/4/16	80	0	4.24	65.64	9,762.01	12,515.40	0.78
29	12/4/16	80	0	5.72	65.67	8,397.43	11,196.57	0.75
30	13/4/16	75	1	6.34	59.22	7,403.83	11,050.49	0.67
31	14/4/16	70	0	8.15	63.05	6,296.19	8,624.92	0.73
32	15/4/16	80	1	8.65	70.27	6,896.27	8,018.92	0.86
33	18/4/16	75	0	8.17	59.97	5,506.53	10,197.28	0.54
34	19/4/16	70	1	9.75	66.79	6,873.53	10,574.66	0.65
35	20/4/16	80	0	9.21	69.50	9,604.80	11,040.00	0.87
36	21/4/16	75	1	8.28	64.71	5,043.15	8,134.11	0.62
37	22/4/16	70	0	9.26	63.06	6,128.40	7,295.71	0.84
38	23/4/16	70	0	7.90	68.35	4,000.94	5,971.55	0.67
39	27/4/16	75	0	7.83	63.45	4,144.09	6,906.82	0.60
40	28/4/16	70	1	6.80	58.91	4,655.88	7,162.89	0.65
41	29/4/16	80	0	7.36	51.78	5,706.63	6,136.16	0.93
42	3/5/16	75	1	9.88	38.55	5,176.11	7,725.54	0.67
43	4/5/16	70	0	11.07	48.79	3,775.96	6,293.27	0.60
44	5/5/16	70	0	11.36	56.81	2,028.86	3,757.15	0.54
45	10/5/16	75	1	8.56	61.36	5,930.60	6,446.30	0.92
46	11/5/16	70	1	8.03	60.95	6,087.69	8,574.21	0.71
47	12/5/16	80	1	7.68	64.01	4,017.73	6,377.35	0.63

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	$ED_{Cald,d}$ (kWh)	$E_{GN,d}$ (kWh)	Rend.
48	16/5/16	75	1	9.90	55.36	4,137.88	7,134.28	0.58
49	17/5/16	70	1	11.62	53.73	2,541.97	3,684.01	0.69
50	11/10/16	75	1	9.33	42.14	1,621.13	2,947.51	0.55
51	13/10/16	75	1	9.82	75.35	2,242.91	4,313.29	0.52
52	14/10/16	75	1	9.47	62.92	3,770.03	4,188.92	0.90
53	17/10/16	75	0	11.29	68.39	2,845.46	4,822.81	0.59
54	18/10/16	75	0	11.78	67.46	3,729.41	6,015.18	0.62
55	19/10/16	80	1	11.37	62.50	2,516.15	3,871.00	0.65
56	20/10/16	75	0	9.31	58.69	2,093.86	4,026.65	0.52
57	21/10/16	70	1	7.95	53.55	3,204.64	4,783.04	0.67
58	24/10/16	V		9.50	69.55	3,413.36	5,333.38	0.64
59	25/10/16	80	1	10.55	68.02	5,630.49	8,043.56	0.70
60	26/10/16	75	0	11.76	67.88	5,070.97	5,965.85	0.85
61	27/10/16	70	1	11.93	64.33	2,717.76	4,529.60	0.60
62	28/10/16	V		11.75	48.84	2,941.21	4,142.55	0.71
63	2/11/16	75	0	9.56	53.47	3,292.53	5,487.55	0.60
64	3/11/16	70	1	8.84	57.62	3,626.61	5,579.40	0.65
65	4/11/16	V		8.73	74.70	4,456.06	5,063.70	0.88
66	7/11/16	80	1	2.37	57.87	6,116.40	7,645.50	0.80
67	8/11/16	75	0	2.74	59.87	14,525.62	14,974.87	0.97
68	9/11/16	80	1	5.64	63.33	8,597.28	11,022.15	0.78
69	10/11/16	80	0	4.35	64.80	5,446.64	8,379.45	0.65
70	11/11/16	80	0	3.72	72.94	8,742.39	10,165.57	0.86
71	14/11/16	75	0	5.14	63.83	7,941.88	12,606.16	0.63
72	15/11/16	70	1	4.81	57.49	4,983.43	9,228.57	0.54
73	17/11/16	80	1	6.75	66.63	6,165.21	10,629.67	0.58
74	18/11/16	75	0	6.59	68.80	4,820.33	8,926.54	0.54
75	21/11/16	75	1	5.50	72.30	12,276.63	15,345.79	0.80
76	22/11/16	80	0	4.42	69.93	9,496.62	15,074.00	0.63
77	23/11/16	75	1	2.72	71.07	6,044.73	10,990.42	0.55
78	24/11/16	70	0	2.72	69.87	7,771.31	9,837.10	0.79
79	28/11/06	80	0	3.63	75.25	10,356.41	12,184.01	0.85
80	29/11/06	75	1	2.05	76.31	8,106.81	13,511.35	0.60
81	30/11/06	70	0	4.86	68.85	8,043.82	9,930.64	0.81
82	1/12/16	80	0	5.21	69.88	8,139.59	13,343.59	0.61
83	2/12/16	80	0	4.91	70.61	5,343.23	8,905.38	0.60
84	5/12/16	75	0	6.62	76.65	10,301.89	11,841.25	0.87
85	7/12/16	70	1	3.03	83.96	7,860.83	11,732.58	0.67
86	9/12/16	80	0	2.52	79.24	7,613.92	12,481.84	0.61
87	12/12/16	80	1	2.74	84.20	13,760.66	16,781.29	0.82
88	13/12/16	75	0	2.65	81.35	14,234.76	22,959.29	0.62
89	14/12/16	75	0	4.79	75.20	11,188.90	19,629.65	0.57
90	15/12/16	70	1	4.49	76.77	7,789.33	14,696.85	0.53
91	18/12/16	75	0	3.24	65.33	14,657.38	15,268.10	0.96
92	19/12/16	80	1	1.12	67.68	7,181.05	11,582.34	0.62

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	$ED_{Cald,d}$ (kWh)	$E_{GN,d}$ (kWh)	Rend.
93	20/12/16	80	0	2.39	66.39	9,509.86	19,407.88	0.49
94	21/12/16	80	1	3.24	66.63	7,720.73	16,427.09	0.47
95	22/12/16	80	0	4.58	66.28	9,912.89	10,545.63	0.94
96	23/12/16	80	1	2.87	77.01	6,259.02	10,431.70	0.60
97	27/12/16	80	0	0.40	71.16	9,598.56	14,997.75	0.64
98	28/12/16	75	1	2.58	70.93	8,606.92	13,241.42	0.65

5.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Para el análisis de los resultados obtenidos en los 98 días de los que se recogieron datos, se han realizado diferentes representaciones gráficas que ayudan a obtener posibles tendencias en el comportamiento de la instalación.

La primera representación que se presenta es el valor del rendimiento de la instalación de calefacción en función de la temperatura media exterior:

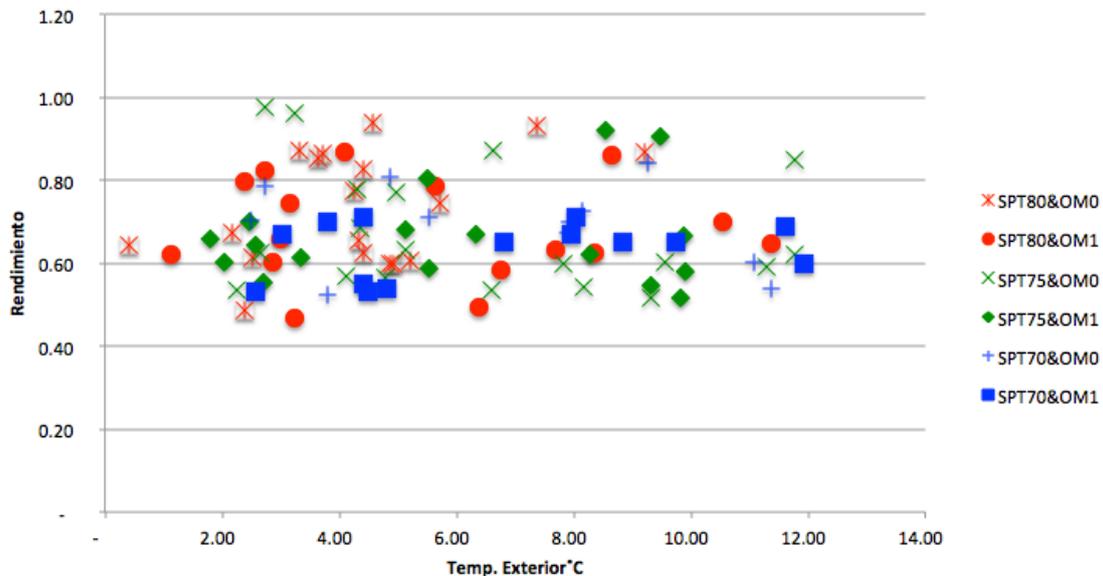


Figura 5.19.- Rendimiento vs Temperatura media exterior.

Tal y como se puede ver en la Tabla 5.5 y en la Figura 5.19, el rendimiento del sistema de calderas varía entre 0.47 y 0.97 según los días, con un valor medio de 0.68 y una desviación estándar de 0.12.

El objeto del estudio es averiguar cuáles son los factores que influyen en el rendimiento al objeto de poder maximizar el mismo.

Para ello se van a utilizar como variables de estudio las siguientes:

- Temperatura de consigna.
- Modo de funcionamiento.
- Temperatura media del día.
- Humedad relativa media del día.
- Demanda calorífica del sistema.

El análisis detallado de todos estos factores se representa a continuación:

En la Tabla 5.6, se puede ver el rendimiento de la instalación en función de la temperatura de consigna (SPT).

Tabla 5.6.- Rendimiento vs Temperatura de consigna

Rend.	Rend.	Rend.
SPT 70	SPT 75	SPT 80
0.71	0.77	0.74
0.70	0.66	0.87
0.53	0.54	0.66
0.52	0.70	0.67
0.55	0.57	0.87
0.70	0.62	0.83
0.70	0.59	0.62
0.71	0.78	0.60
0.73	0.68	0.49
0.65	0.68	0.78
0.84	0.67	0.75
0.67	0.54	0.86
0.65	0.62	0.87
0.60	0.60	0.93
0.54	0.67	0.63
0.71	0.92	0.65
0.69	0.58	0.70
0.67	0.55	0.80
0.60	0.52	0.78
0.65	0.90	0.65
0.54	0.59	0.86
0.79	0.62	0.58
0.81	0.52	0.63
0.67	0.85	0.85
0.53	0.60	0.61
	0.97	0.60
	0.63	0.61
	0.54	0.82
	0.80	0.62
	0.55	0.49
	0.60	0.47
	0.87	0.94
	0.62	0.60
	0.57	0.64
	0.96	
	0.65	
0.66	0.67	0.71

5.7.1 Influencia de la temperatura de consigna en el rendimiento

En la Tabla 5.6 se presentan todos los resultados obtenidos en función de las temperaturas de consigna, cuyo valor promedio se recoge en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7.- Rendimiento de las calderas promedio vs Temperatura de consigna

Rend. 70	0.66
Rend. 75	0.67
Rend. 80	0.71

De acuerdo a estos datos, se deduce, que la temperatura de consigna (SPT) a la cual el rendimiento de las calderas es mayor, es 80°C, llegando a ser un 8% superior al rendimiento con la temperatura de consigna (SPT) a 70°C.

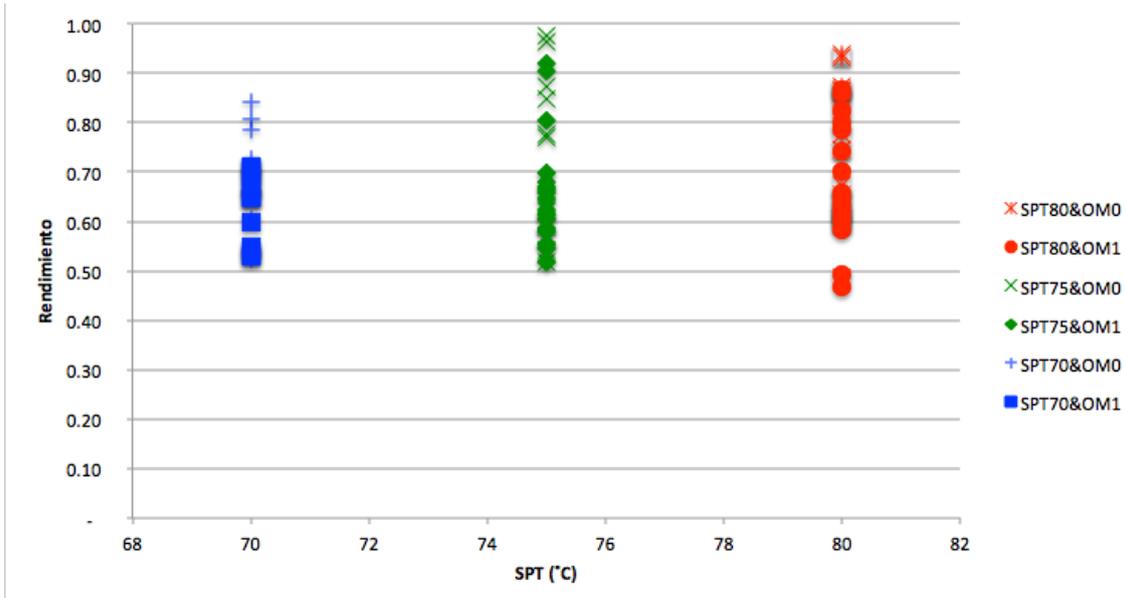


Figura 5.20.- Rendimiento vs Temperatura de consigna (SPT)

5.7.2 Influencia del modo de funcionamiento en el rendimiento

A continuación se estudia cómo influye el modo de funcionamiento que se programe en el sistema sobre el rendimiento de la instalación.

Para poder realizarlo, se han almacenado datos de días diferentes con diferentes temperaturas de consigna (SPT) y diferente modo de funcionamiento (OM). Siendo OM 1, cuando se hacen funcionar las calderas en paralelo, como una única caldera, y OM 0, cuando una funciona como maestra y otra como esclava.

En la Tabla 5.8 se han representados los valores del rendimiento frente a los diferentes modos de funcionamiento

Tabla 5.8.- Rendimiento vs Modo funcionamiento

Rend.	Rend.	Rend.	Rend.
OM 0	OM 0	OM 1	OM 1
0.77	0.59	0.74	0.69
0.87	0.62	0.71	0.55
0.70	0.52	0.66	0.52
0.54	0.85	0.66	0.90
0.67	0.60	0.53	0.65
0.52	0.97	0.70	0.67
0.57	0.65	0.87	0.70
0.83	0.86	0.55	0.60
0.70	0.63	0.62	0.65
0.78	0.54	0.59	0.80
0.60	0.63	0.62	0.78
0.71	0.79	0.70	0.54
0.68	0.85	0.68	0.58
0.78	0.81	0.49	0.80
0.75	0.61	0.67	0.55
0.73	0.60	0.86	0.60
0.54	0.87	0.65	0.67
0.87	0.61	0.62	0.82
0.84	0.62	0.65	0.53
0.67	0.57	0.67	0.62
0.60	0.96	0.92	0.47
0.93	0.49	0.71	0.60
0.60	0.94	0.63	0.65
0.54	0.64	0.58	
0.70		0.66	

Para el modo de operación 0 (OM0) el rendimiento promedio es de 0.7 y para el modo de operación 1 (OM1) el rendimiento promedio es de 0.66, lo cual representa una diferencia del 6%. De donde se puede concluir que es mejor para la instalación de estudio un modo de funcionamiento en modo maestro-esclavo. (OM 0).

En la Figura 5.21 se ha representado gráficamente el rendimiento para los dos modos de operación.

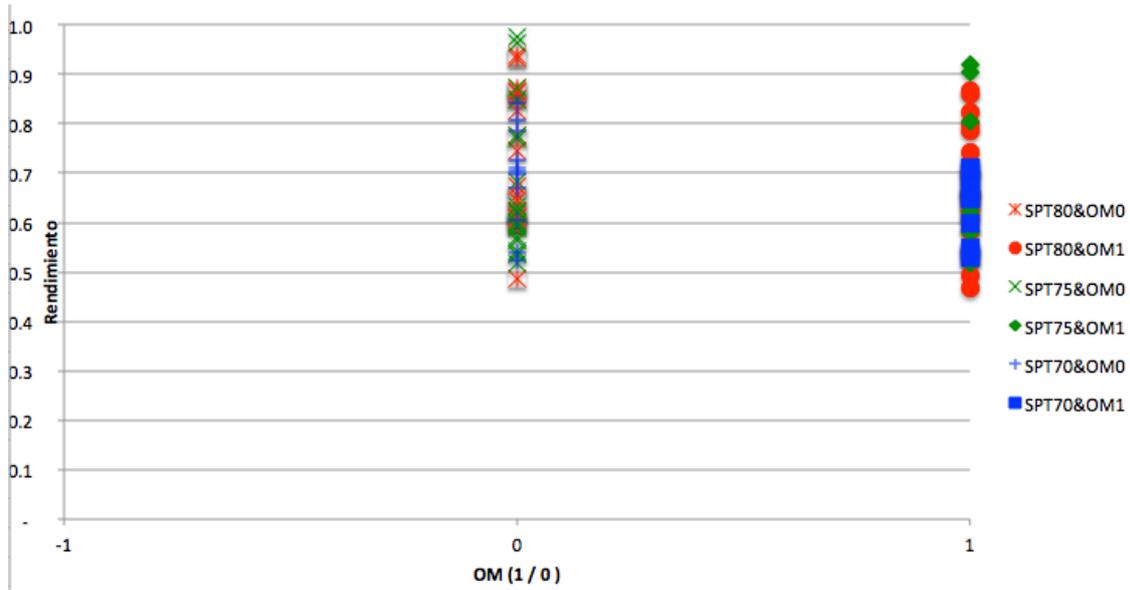


Figura 5.21.- Rendimiento vs Modo de funcionamiento

5.7.3 Influencia la temperatura de consigna y el selector de modo de funcionamiento en el rendimiento

Ahora se va a proceder a estudiar la influencia de la temperatura de consigna junto con el modo de funcionamiento para ver si existen relaciones cruzadas entre los factores.

Los estudios a realizar son los siguientes:

- 1.- Temperatura de consigna 80°C (SPT80) y Selector de época intermedia on (OM1)
- 2.- Temperatura de consigna 80°C (SPT80) y Selector de época intermedia off (OM0)
- 3.- Temperatura de consigna 75°C (SPT75) y Selector de época intermedia on (OM1)
- 4.- Temperatura de consigna 75°C (SPT75) y Selector de época intermedia off (OM0)
- 5.- Temperatura de consigna 70°C (SPT70) y Selector de época intermedia on (OM1)
- 6.- Temperatura de consigna 70°C (SPT70) y Selector de época intermedia off (OM0)

Tabla 5.9.- Rendimiento vs Temperatura de consigna (SPT) y modo de funcionamiento (OM).

Rend.	Rend.	Rend.	Rend.	Rend.	Rend.
OM 0	OM 0	OM 0	OM 1	OM 1	OM 1
SPT 70	SPT 75	SPT 80	SPT 70	SPT 75	SPT 80
0.70	0.77	0.87	0.71	0.66	0.74
0.52	0.54	0.67	0.53	0.70	0.66
0.70	0.57	0.83	0.55	0.62	0.87
0.71	0.78	0.60	0.70	0.59	0.62
0.73	0.68	0.78	0.65	0.68	0.49
0.84	0.54	0.75	0.65	0.67	0.86
0.67	0.60	0.87	0.71	0.62	0.63
0.60	0.59	0.93	0.69	0.67	0.65
0.54	0.62	0.65	0.67	0.92	0.70

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Rend.	Rend.	Rend.	Rend.	Rend.	Rend.
OM 0	OM 0	OM 0	OM 1	OM 1	OM 1
SPT 70	SPT 75	SPT 80	SPT 70	SPT 75	SPT 80
0.79	0.52	0.86	0.60	0.58	0.80
0.81	0.85	0.63	0.65	0.55	0.78
	0.60	0.85	0.54	0.52	0.58
	0.97	0.61	0.67	0.90	0.82
	0.63	0.60	0.53	0.80	0.62
	0.54	0.61		0.55	0.47
	0.87	0.49		0.60	0.60
	0.62	0.94		0.65	
	0.57	0.64			
	0.96				
0.69	0.67	0.73	0.63	0.66	0.68

Los valores obtenidos para el modo de operación OM0 son de 0.69, 0.67 y 0.73, y para el modo de operación OM1 son de 0.63, 0.66 y 0.68 para las temperaturas de consigna (SPT) de 70°C, 75°C y 80°C.

De aquí se puede obtener que el rendimiento es mayor cuando la temperatura de consigna es 80°C y el modo de funcionamiento en época intermedia está desactivado (OM 0).

El rendimiento en esas condiciones llega a ser del 7% superior al rendimiento inmediatamente siguiente que con SPT 80°C y con el modo de funcionamiento de época intermedia funcionando (OM 1).

Y llega a ser un 16% superior a cuando el sistema de calefacción está funcionando con una temperatura de consigna de 70°C y con el modo de funcionamiento de época intermedia activado (SPT70, y OM1).

Como conclusión se puede obtener que si la instalación de estudio funcionase continuamente con SPT a 80°C y OM 0. el rendimiento de la instalación sería del 73%.

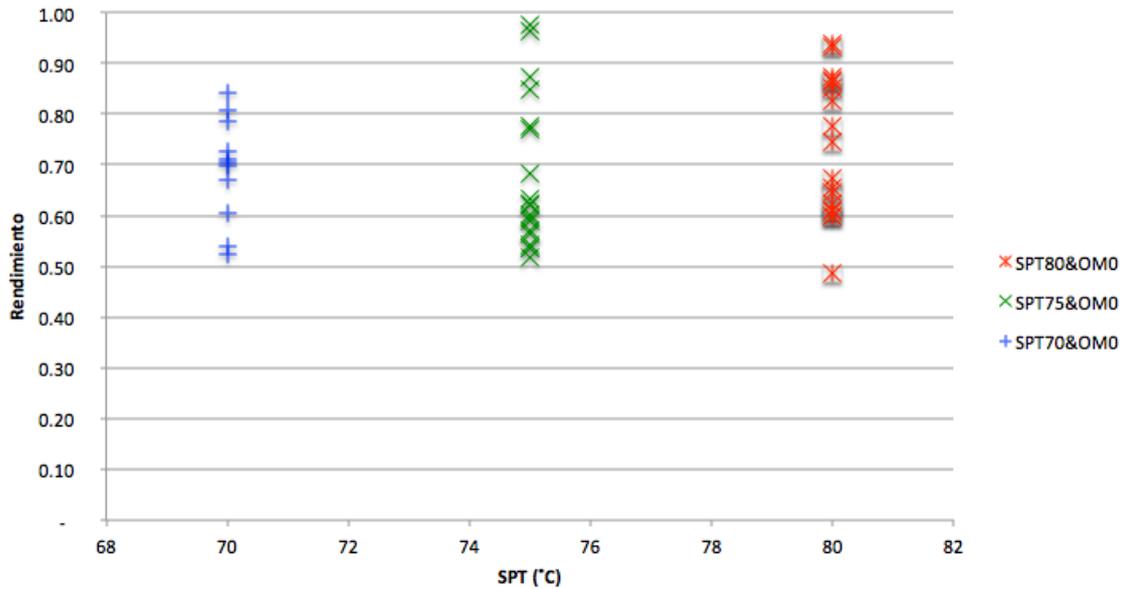


Figura 5.22.- Rendimiento vs Temperatura de consigna con Modo de funcionamiento OM 0.

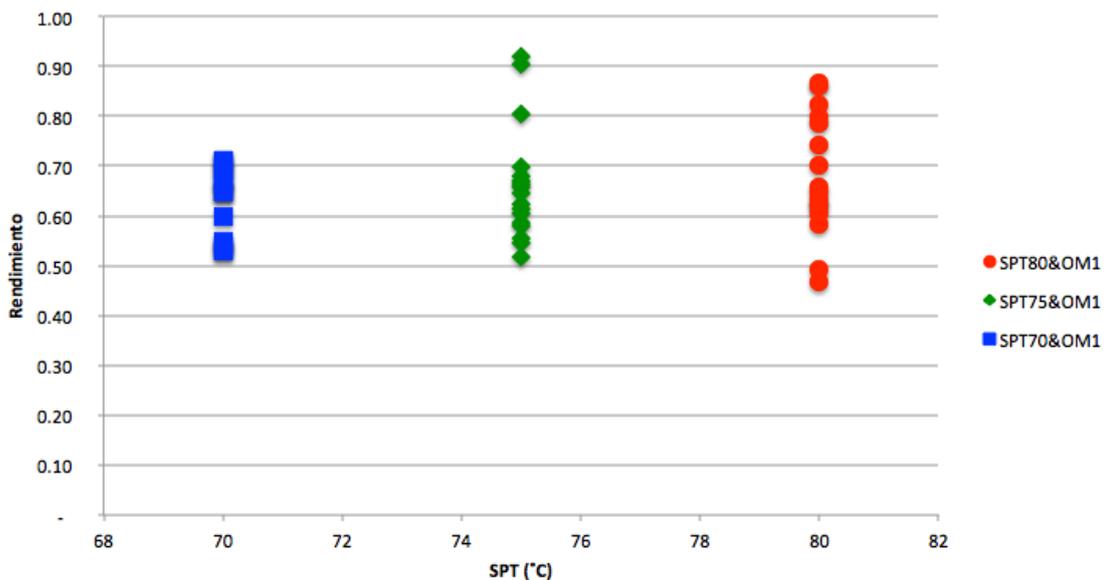


Figura 5.23.- Rendimiento vs Temperatura de consigna con Modo de funcionamiento OM 1.

En todas las temperaturas de consigna, el rendimiento de la instalación es más alto con modos de funcionamiento 0 que con modos de funcionamiento 1.

5.7.4 Influencia de las variables externas sobre el modo de funcionamiento del sistema.

En este apartado se procede a estudiar el efecto de otras variables exógenas sobre el rendimiento de la instalación para los seis casos descritos anteriormente, es decir, las tres temperaturas de consigna y los dos modos de funcionamiento.

Las variables exógenas que se estudian son:

- La temperatura media exterior del día de estudio (OT).
- La humedad relativa media exterior del día de estudio (HR).
- La demanda que se ha exigido al sistema el día del estudio (ED). (evaluada a través de la cantidad de kWh producidos).

A modo de resumen se representan desde la Figura 5.24 a la Figura 5.26 donde se pueden ver los valores del rendimiento frente a la temperatura media exterior, la humedad relativa media exterior y la demanda energética. En la Figura 5.27 se puede ver la representación de la demanda energética exterior en función de la temperatura exterior.

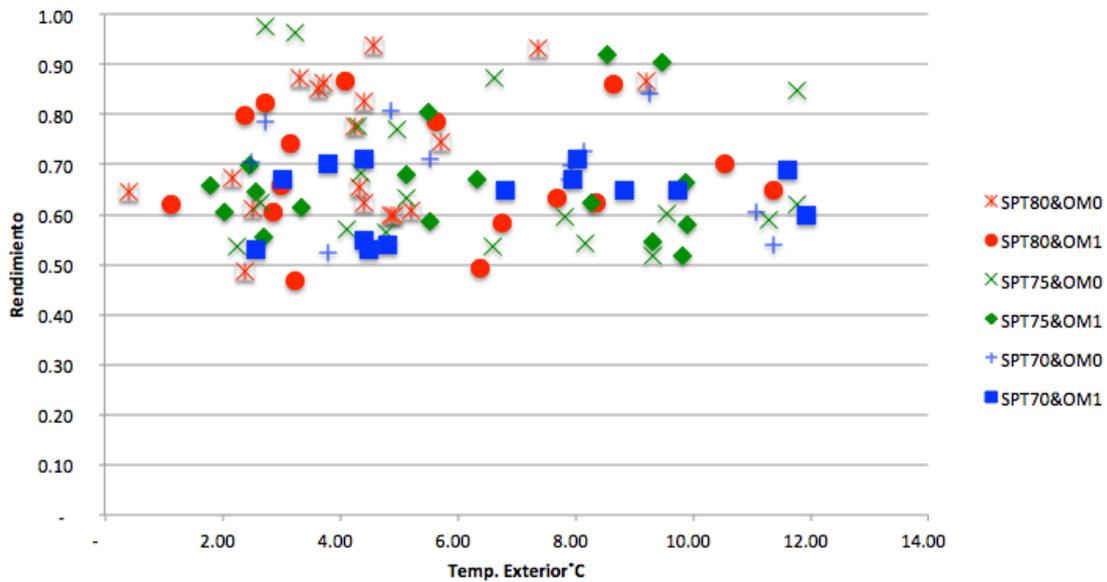


Figura 5.24.- Rendimiento vs Temperatura media exterior (OT)

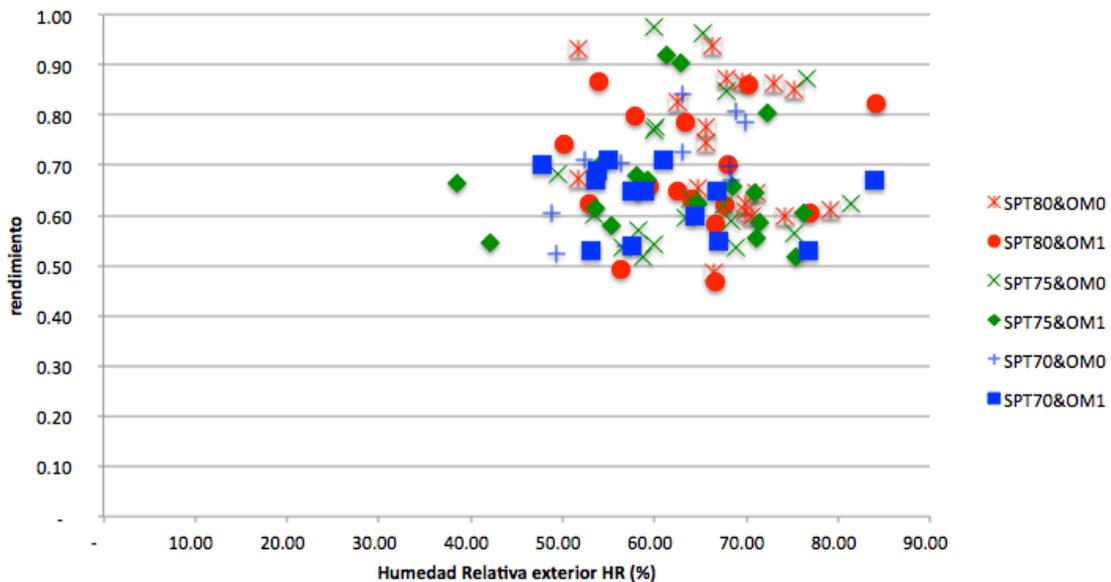


Figura 5.25.- Gráfico rendimiento vs humedad relativa media exterior (RH)

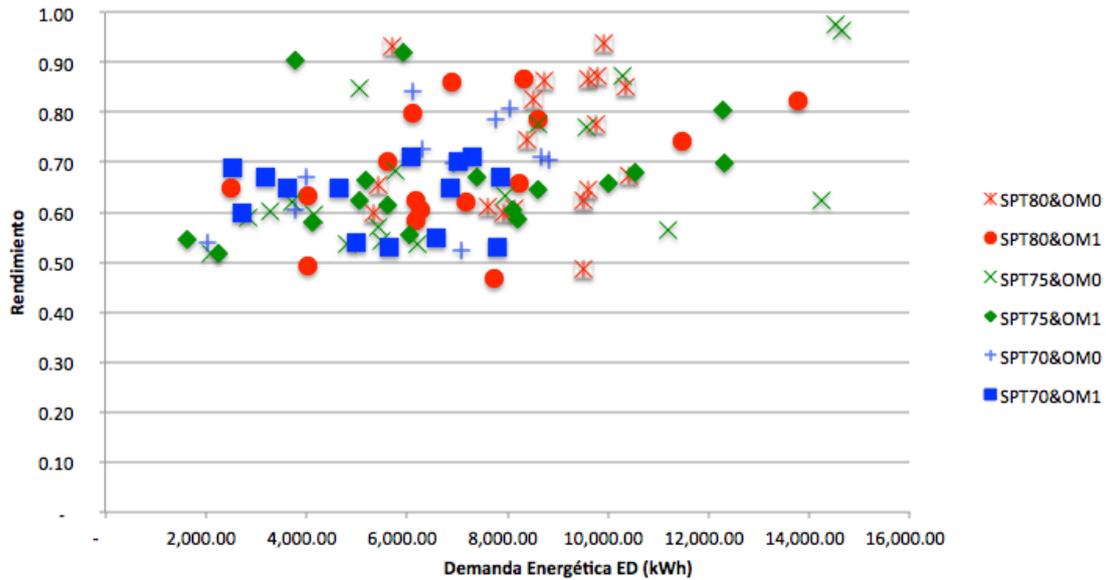


Figura 5.26.- Rendimiento vs ED

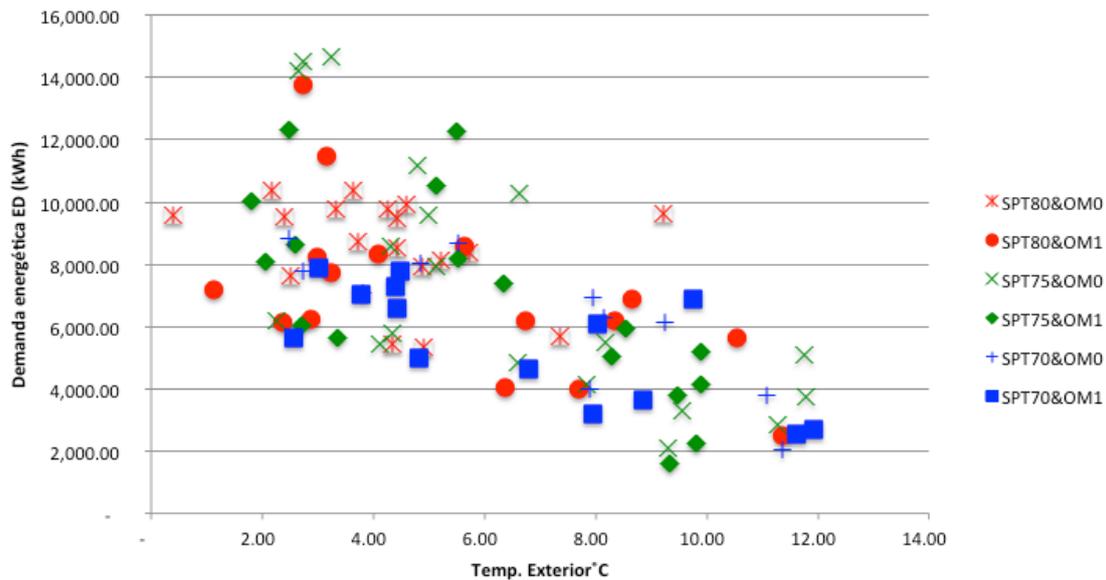


Figura 5.27.- Demanda energética del edificio vs Temperatura media exterior.

Como se puede ver en los gráficos anteriores, la temperatura exterior OT, prácticamente no tiene influencia sobre el resultado del rendimiento de la instalación, en cuanto a la humedad relativa no se aprecia tampoco un incremento del rendimiento al aumentar esta.

Con la demanda energética, en cambio, sí se puede apreciar un ligero incremento del rendimiento al aumentar la demanda.

Por otro lado en la Figura 5.27 se puede apreciarse una tendencia que ya se podía anticipar, y es que un incremento en la temperatura exterior OT, implica una disminución clara de la demanda energética ED.

A continuación se presentan detalladamente los resultados obtenidos para los seis casos resultantes de combinar las temperaturas de consigna (SPT) y el modo de funcionamiento (OM).

5.7.4.1 SPT80, OM 0

Los resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 80°C y modo de funcionamiento OM0 se pueden ver en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10.-Resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 80°C y modo de funcionamiento OM0

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
4	4/3/16	80	0	3.32	67.87	9,779.28	0.87
10	14/3/16	80	0	2.16	51.67	10,397.88	0.67
16	22/3/16	80	0	4.42	62.44	8,514.01	0.83
23	4/4/16	80	0	4.87	74.25	7,928.88	0.60
28	11/4/16	80	0	4.24	65.64	9,762.01	0.78
29	12/4/16	80	0	5.72	65.67	8,397.43	0.75
35	20/4/16	80	0	9.21	69.50	9,604.80	0.87
41	29/4/16	80	0	7.36	51.78	5,706.63	0.93
69	10/11/16	80	0	4.35	64.80	5,446.64	0.65
70	11/11/16	80	0	3.72	72.94	8,742.39	0.86
76	22/11/16	80	0	4.42	69.93	9,496.62	0.63
79	28/11/06	80	0	3.63	75.25	10,356.41	0.85
82	1/12/16	80	0	5.21	69.88	8,139.59	0.61
83	2/12/16	80	0	4.91	70.61	5,343.23	0.60
86	9/12/16	80	0	2.52	79.24	7,613.92	0.61
93	20/12/16	80	0	2.39	66.39	9,509.86	0.49
95	22/12/16	80	0	4.58	66.28	9,912.89	0.94
97	27/12/16	80	0	0.40	71.16	9,598.56	0.64

Y si estos resultados del rendimiento se grafican en función de los factores exógenos, temperatura exterior, humedad relativa, y demanda energética:

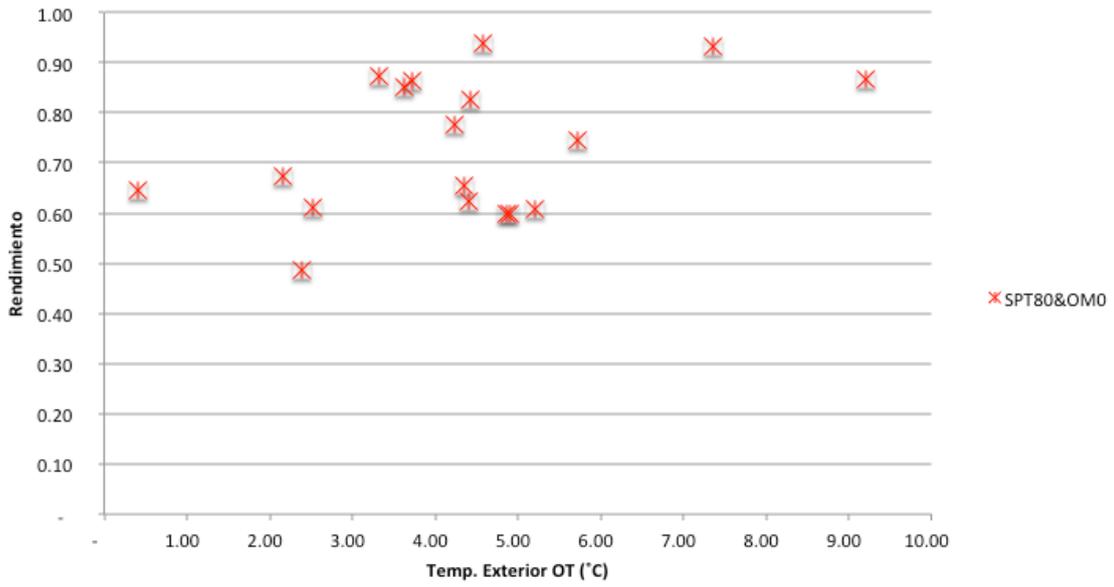


Figura 5.28.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 80°C y OM 0

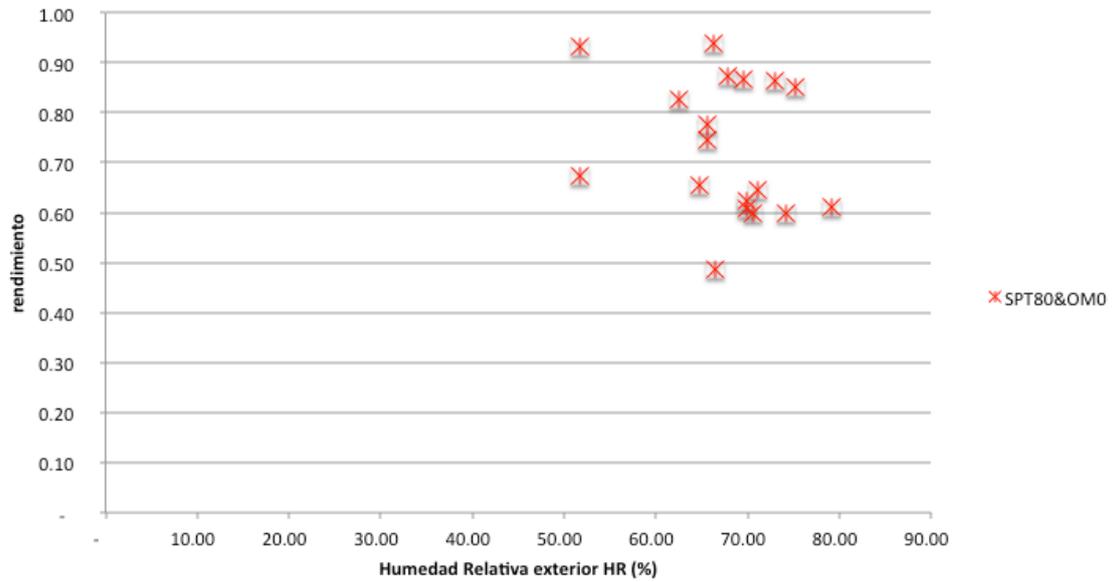


Figura 5.29.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 80°C y OM 0

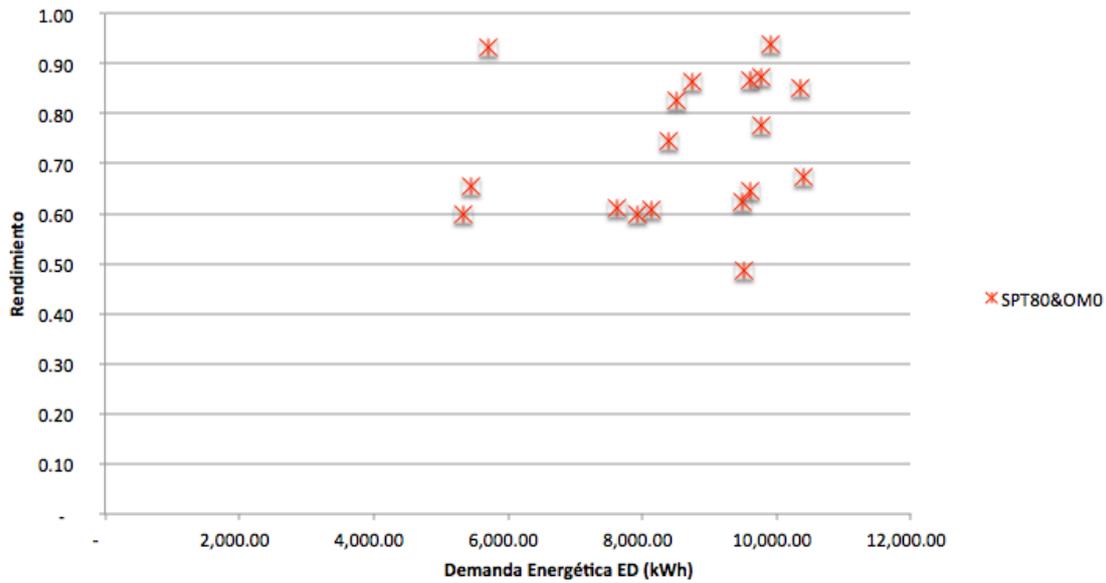


Figura 5.30.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 80°C y OM 0

A la vista de las representaciones gráficas obtenidas, se puede concluir lo siguiente:

- La temperatura exterior influye aumentando ligeramente el rendimiento al aumentar ésta.
- La humedad relativa exterior no tiene una influencia clara sobre el rendimiento.
- La demanda calorífica tampoco se aprecia que influya claramente sobre el rendimiento.

5.7.4.2 SPT80, OM 1

Los resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 80°C y modo de funcionamiento OM1 se pueden ver en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11.- Resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 80°C y modo de funcionamiento OM 1

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
1	1/3/16	80	1	3.15	50.20	11,467.81	0.74
7	9/3/16	80	1	2.99	59.41	8,241.35	0.66
13	17/3/16	80	1	4.10	53.87	8,331.79	0.87
20	30/3/16	80	1	8.35	52.88	6,178.13	0.62
26	7/4/16	80	1	6.38	56.41	4,033.05	0.49
32	15/4/16	80	1	8.65	70.27	6,896.27	0.86
47	12/5/16	80	1	7.68	64.01	4,017.73	0.63
55	19/10/16	80	1	11.37	62.50	2,516.15	0.65
59	25/10/16	80	1	10.55	68.02	5,630.49	0.70
66	7/11/16	80	1	2.37	57.87	6,116.40	0.80
68	9/11/16	80	1	5.64	63.33	8,597.28	0.78

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
73	17/11/16	80	1	6.75	66.63	6,165.21	0.58
87	12/12/16	80	1	2.74	84.20	13,760.66	0.82
92	19/12/16	80	1	1.12	67.68	7,181.05	0.62
94	21/12/16	80	1	3.24	66.63	7,720.73	0.47
96	23/12/16	80	1	2.87	77.01	6,259.02	0.60

Y si estos resultados del rendimiento se grafican en función de los factores exógenos, temperatura exterior, humedad relativa, y demanda energética:

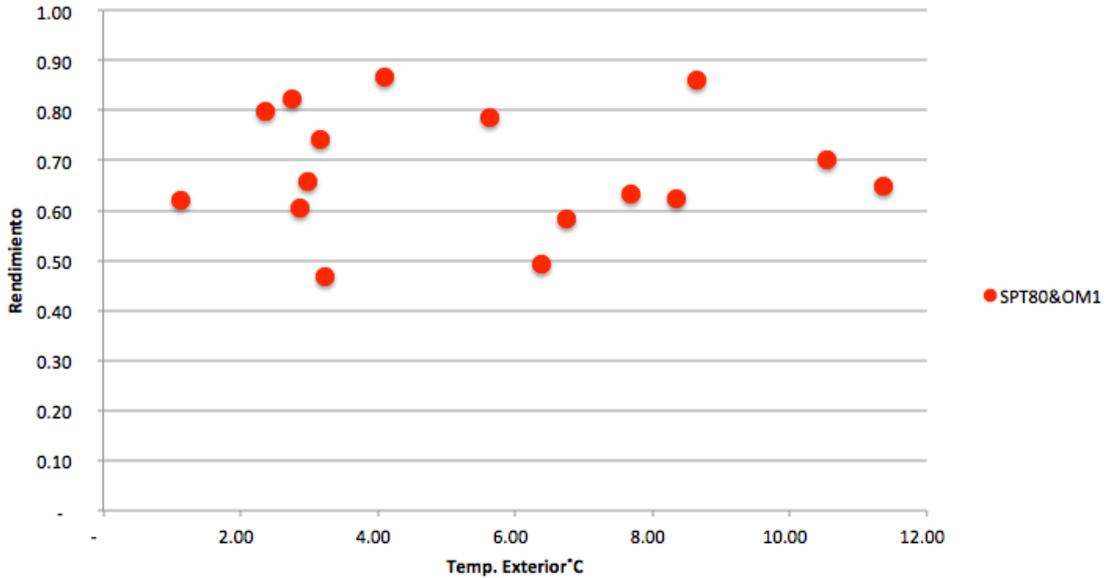


Figura 5.31.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 80°C y OM 1

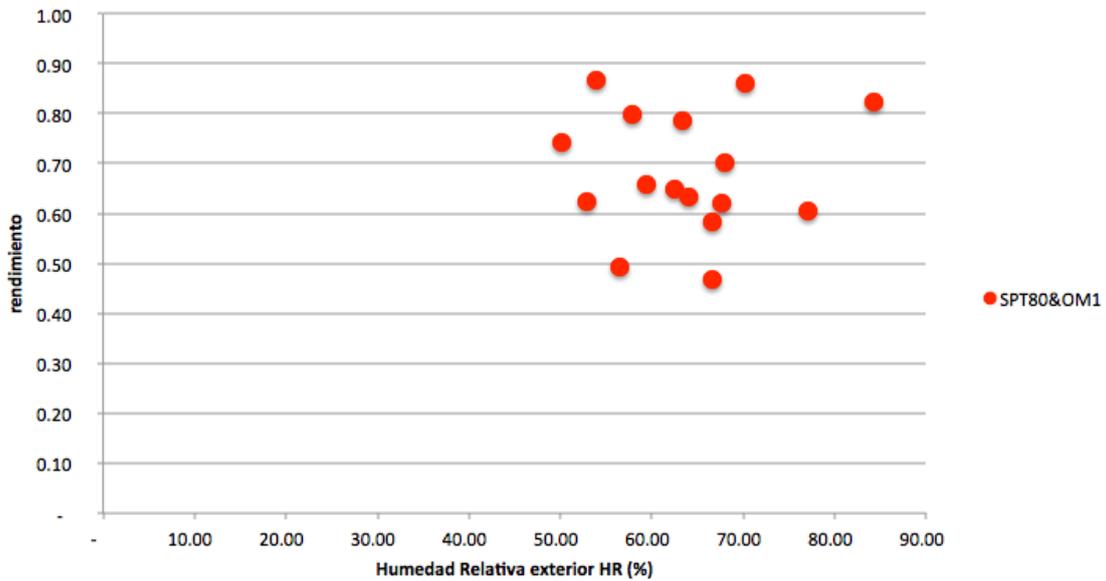


Figura 5.32.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 80°C y OM 1

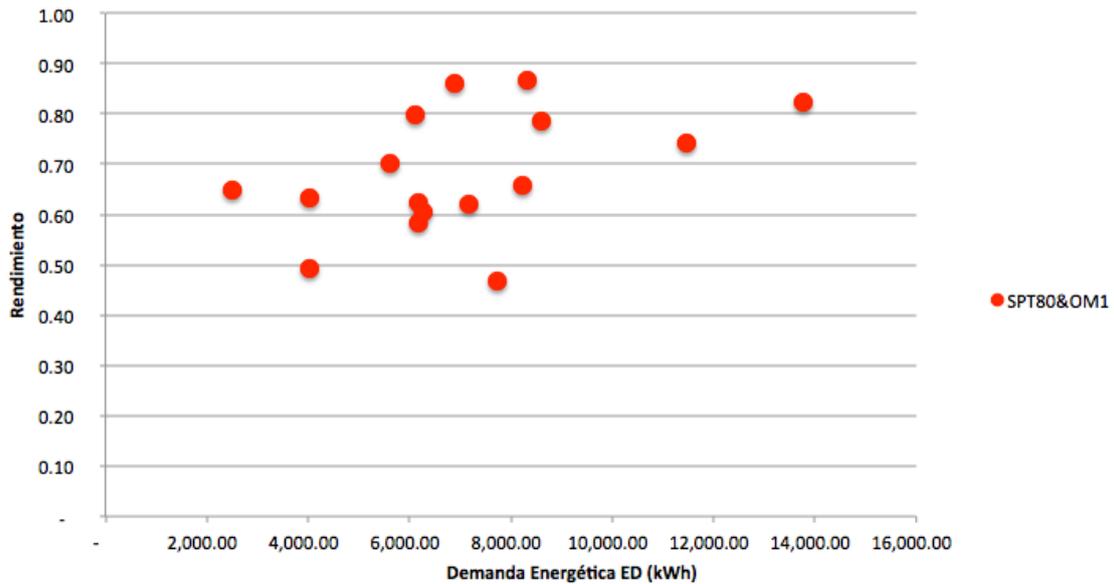


Figura 5.33.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 80°C y OM 1

A la vista de las representaciones gráficas obtenidas, se puede concluir lo siguiente:

- La temperatura exterior prácticamente no influye en el valor del rendimiento.
- La humedad relativa exterior prácticamente no influye en el valor del rendimiento.
- La demanda calorífica influye ligeramente aumentando el rendimiento al aumentar esta.

5.7.4.3 SPT75, OM 0

Los resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 75°C y modo de funcionamiento OM0 se pueden ver en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12.- Resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 75°C y modo de funcionamiento OM0

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
2	2/3/16	75	0	4.98	59.93	9,566.00	0.77
8	10/3/16	75	0	2.26	56.57	6,207.03	0.54
14	18/3/16	75	0	4.11	58.26	5,419.61	0.57
21	31/3/16	75	0	4.30	60.04	8,596.13	0.78
27	8/4/16	75	0	4.35	49.49	5,775.96	0.68
33	18/4/16	75	0	8.17	59.97	5,506.53	0.54
39	27/4/16	75	0	7.83	63.45	4,144.09	0.60
53	17/10/16	75	0	11.29	68.39	2,845.46	0.59
54	18/10/16	75	0	11.78	67.46	3,729.41	0.62
56	20/10/16	75	0	9.31	58.69	2,093.86	0.52
60	26/10/16	75	0	11.76	67.88	5,070.97	0.85

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
63	2/11/16	75	0	9.56	53.47	3,292.53	0.60
67	8/11/16	75	0	2.74	59.87	14,525.62	0.97
71	14/11/16	75	0	5.14	63.83	7,941.88	0.63
74	18/11/16	75	0	6.59	68.80	4,820.33	0.54
84	5/12/16	75	0	6.62	76.65	10,301.89	0.87
88	13/12/16	75	0	2.65	81.35	14,234.76	0.62
89	14/12/16	75	0	4.79	75.20	11,188.90	0.57
91	18/12/16	75	0	3.24	65.33	14,657.38	0.96

Y si estos resultados del rendimiento se grafican en función de los factores exógenos, temperatura exterior, humedad relativa, y demanda energética:

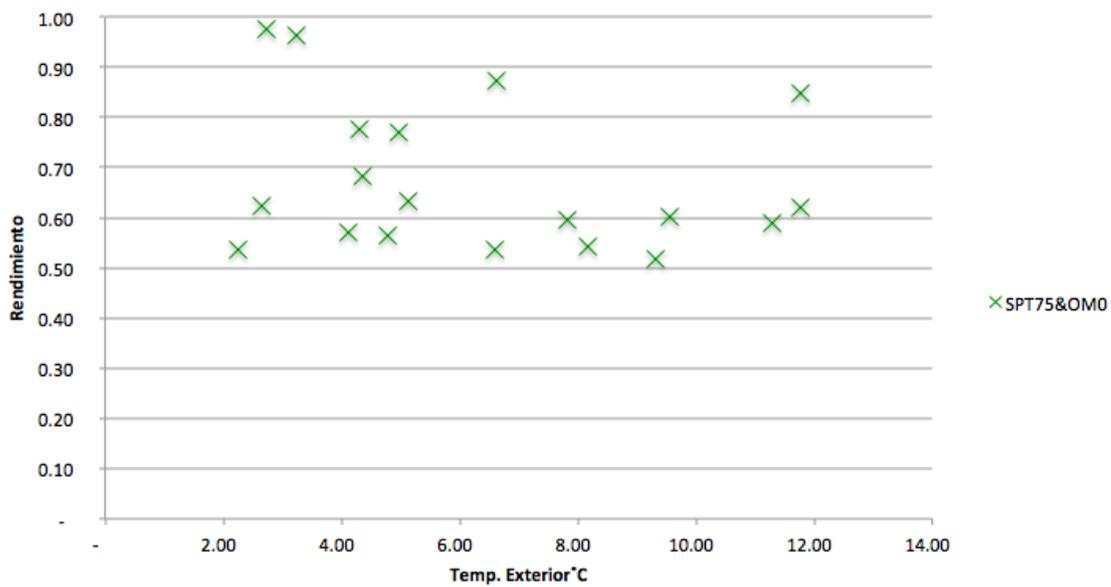


Figura 5.34.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 75°C y OM 0

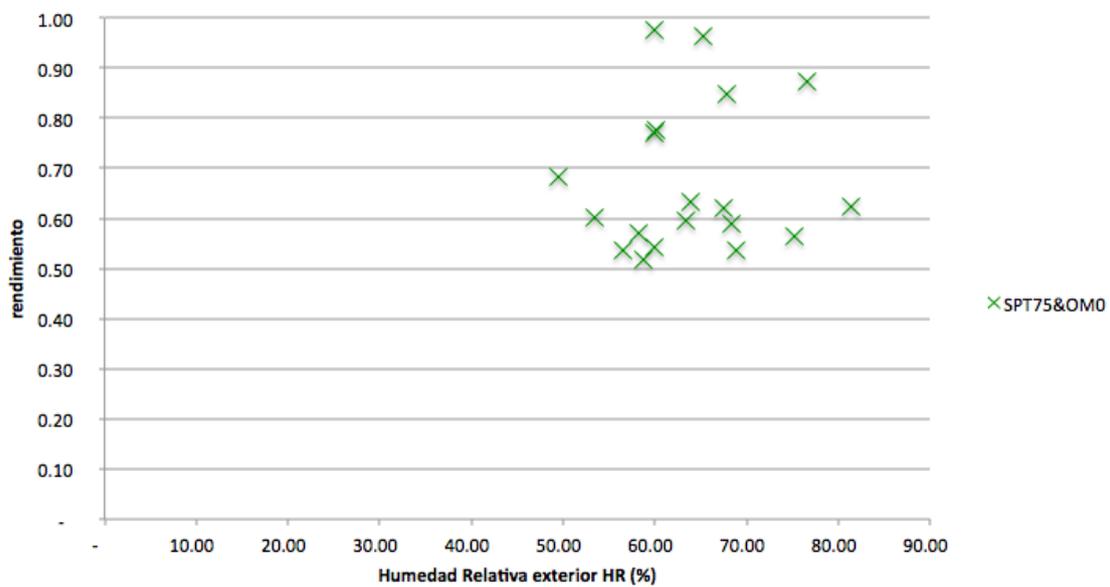


Figura 5.35.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 75°C y OM 0

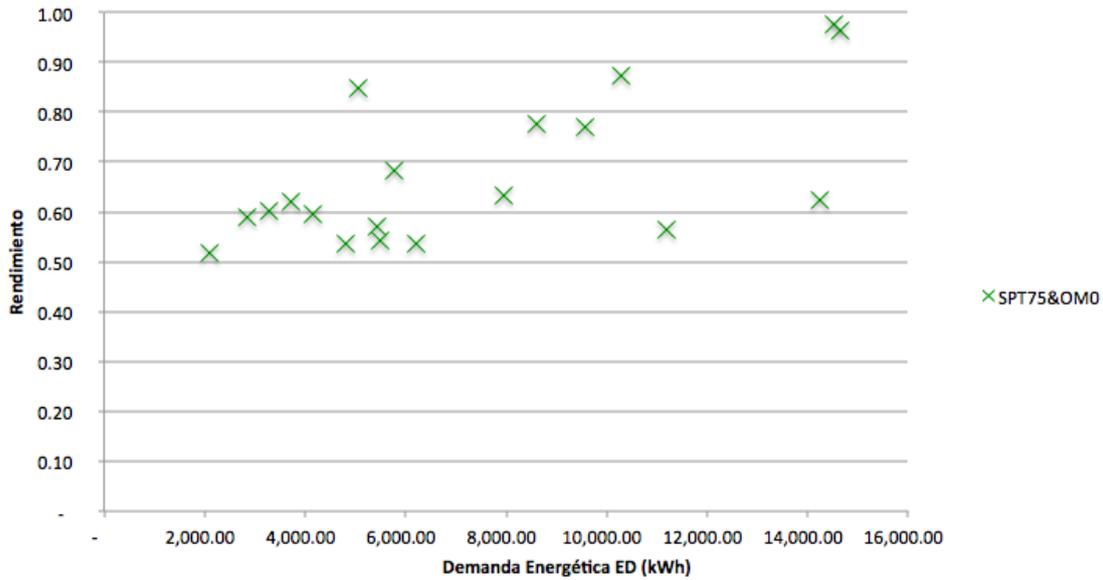


Figura 5.36.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 75°C y OM 0

A la vista de las representaciones gráficas obtenidas, se puede concluir lo siguiente:

- La temperatura exterior no influye claramente sobre el rendimiento.
- La humedad relativa exterior no influye sobre el rendimiento.
- La demanda calorífica influye aumentando ligeramente el rendimiento al aumentar esta.

5.7.4.4 SPT75, OM 1

Los resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 75°C y modo de funcionamiento OM1 se pueden ver en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13.- Resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 75°C y modo de funcionamiento OM1

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
5	7/3/16	75	1	1.80	68.52	10,015.03	0.66
11	15/3/16	75	1	2.47	53.86	12,320.11	0.70
17	23/3/16	75	1	3.35	53.52	5,622.11	0.62
18	28/3/16	75	1	5.52	71.48	8,200.23	0.59
24	5/4/16	75	1	5.14	58.08	10,537.44	0.68
30	13/4/16	75	1	6.34	59.22	7,403.83	0.67
36	21/4/16	75	1	8.28	64.71	5,043.15	0.62
42	3/5/16	75	1	9.88	38.55	5,176.11	0.67
45	10/5/16	75	1	8.56	61.36	5,930.60	0.92
48	16/5/16	75	1	9.90	55.36	4,137.88	0.58
50	11/10/16	75	1	9.33	42.14	1,621.13	0.55

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
51	13/10/16	75	1	9.82	75.35	2,242.91	0.52
52	14/10/16	75	1	9.47	62.92	3,770.03	0.90
75	21/11/16	75	1	5.50	72.30	12,276.63	0.80
77	23/11/16	75	1	2.72	71.07	6,044.73	0.55
80	29/11/06	75	1	2.05	76.31	8,106.81	0.60
98	28/12/16	75	1	2.58	70.93	8,606.92	0.65

Y si estos resultados del rendimiento se grafican en función de los factores exógenos, temperatura exterior, humedad relativa, y demanda energética:

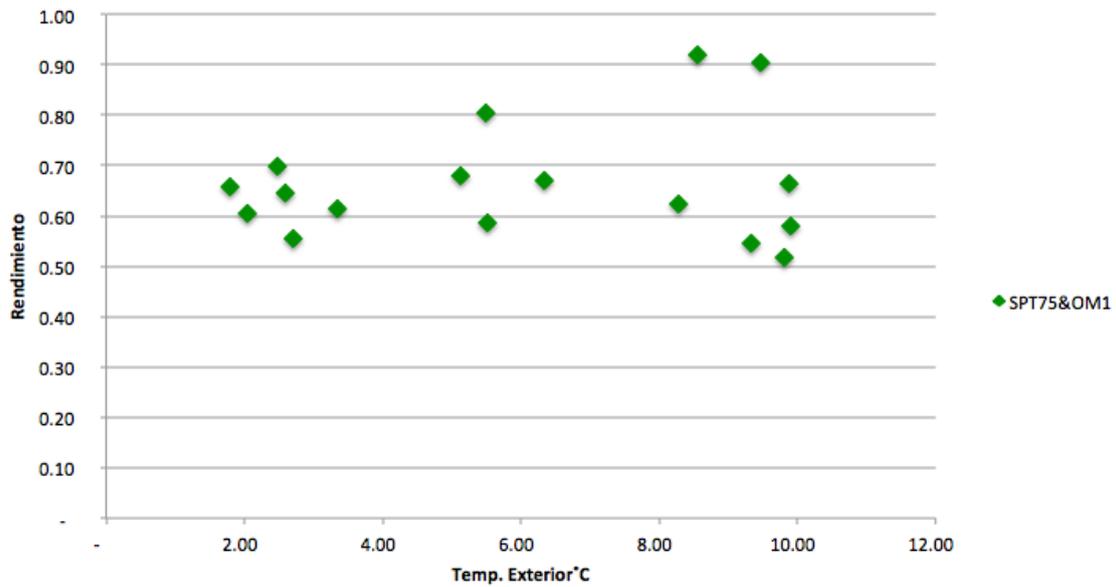


Figura 5.37.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 75°C y OM 1

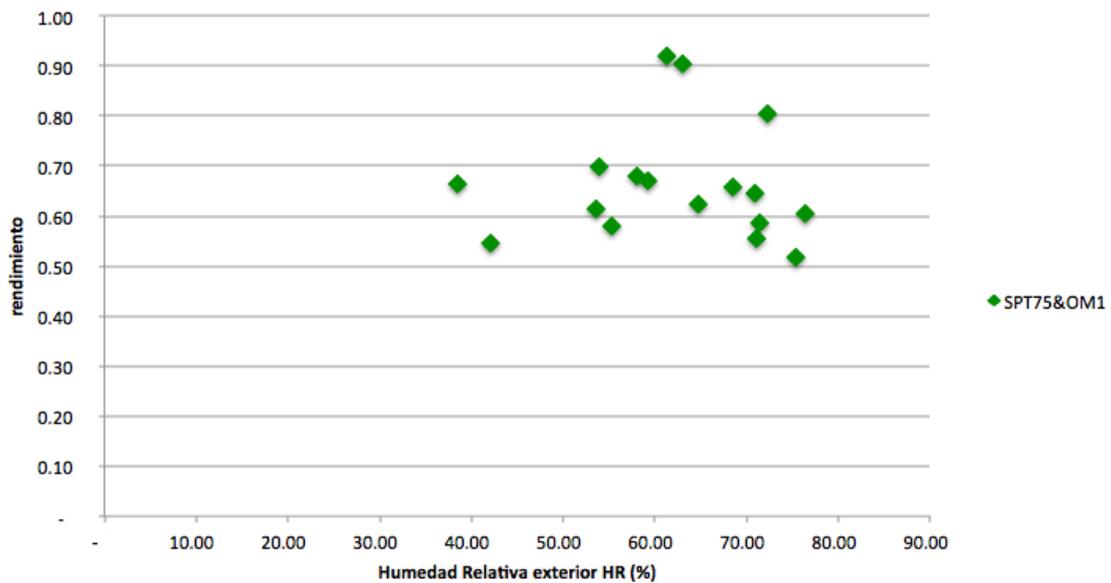


Figura 5.38.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 75°C y OM 1

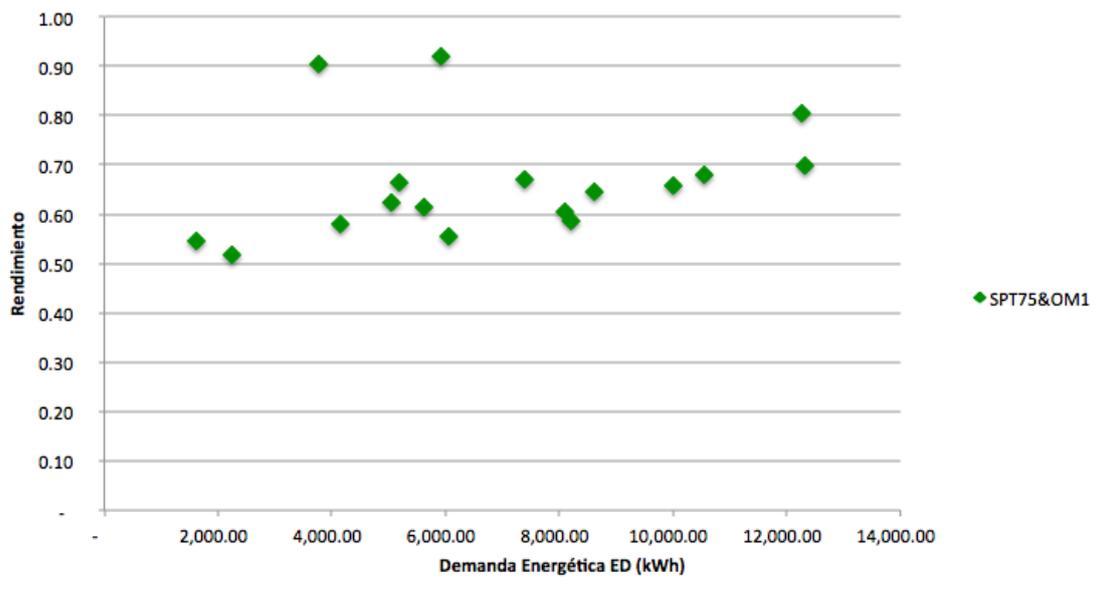


Figura 5.39.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 75°C y OM 1

A la vista de las representaciones gráficas obtenidas, se puede concluir lo siguiente:

- La temperatura exterior influye aumentando ligeramente el rendimiento al aumentar esta.
- La humedad relativa exterior no influye sobre el rendimiento.
- La demanda calorífica influye aumentando el rendimiento al aumentar esta.

5.7.4.5 SPT70, OM 0

Los resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 70°C y modo de funcionamiento OM0 se pueden ver en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14.- Resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 70°C y modo de funcionamiento OM0

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
6	8/3/16	70	0	2.49	56.29	8,813.78	0.70
12	16/3/16	70	0	3.80	49.23	7,080.43	0.52
19	29/3/16	70	0	7.94	68.16	6,913.62	0.70
25	6/4/16	70	0	5.53	52.42	8,673.28	0.71
31	14/4/16	70	0	8.15	63.05	6,296.19	0.73
37	22/4/16	70	0	9.26	63.06	6,128.40	0.84
38	23/4/16	70	0	7.90	68.35	4,000.94	0.67
43	4/5/16	70	0	11.07	48.79	3,775.96	0.60
44	5/5/16	70	0	11.36	56.81	2,028.86	0.54
78	24/11/16	70	0	2.72	69.87	7,771.31	0.79
81	30/11/06	70	0	4.86	68.85	8,043.82	0.81

Y si estos resultados del rendimiento se grafican en función de los factores exógenos, temperatura exterior, humedad relativa, y demanda energética:

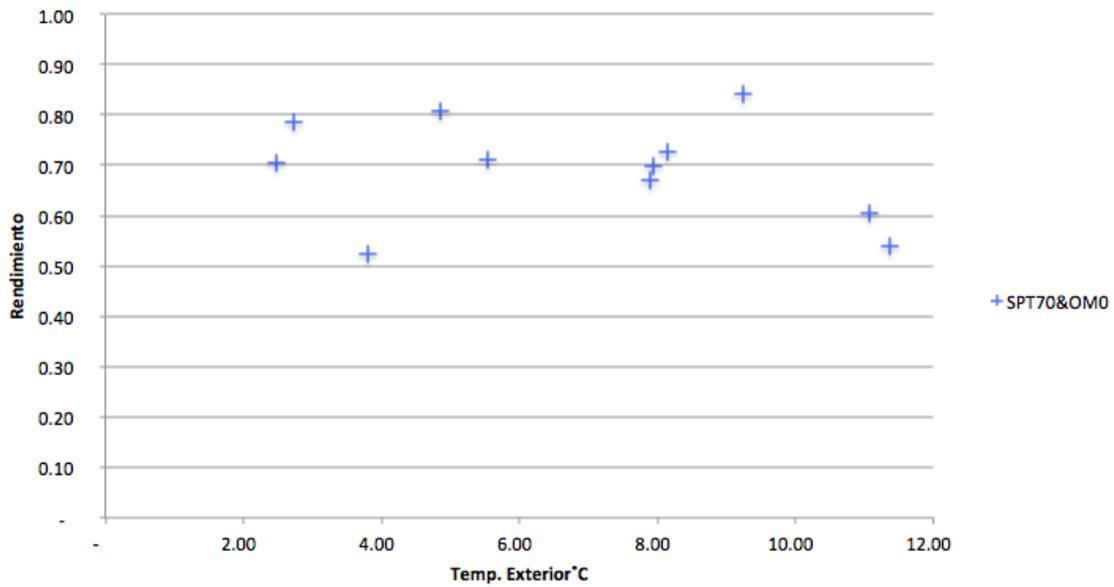


Figura 5.40.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 70°C y OM 0

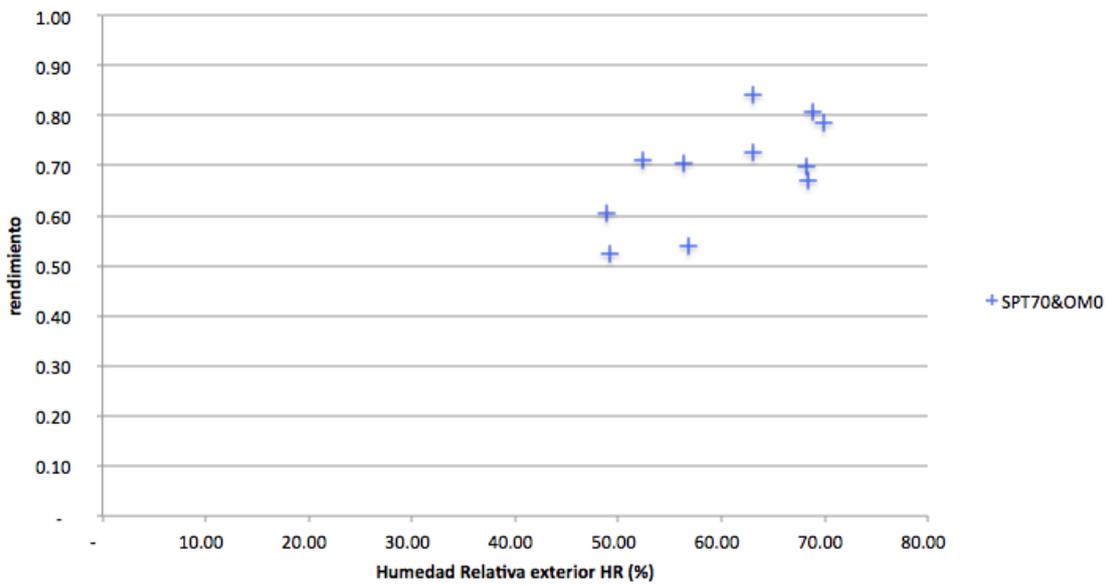


Figura 5.41.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 70°C y OM 0

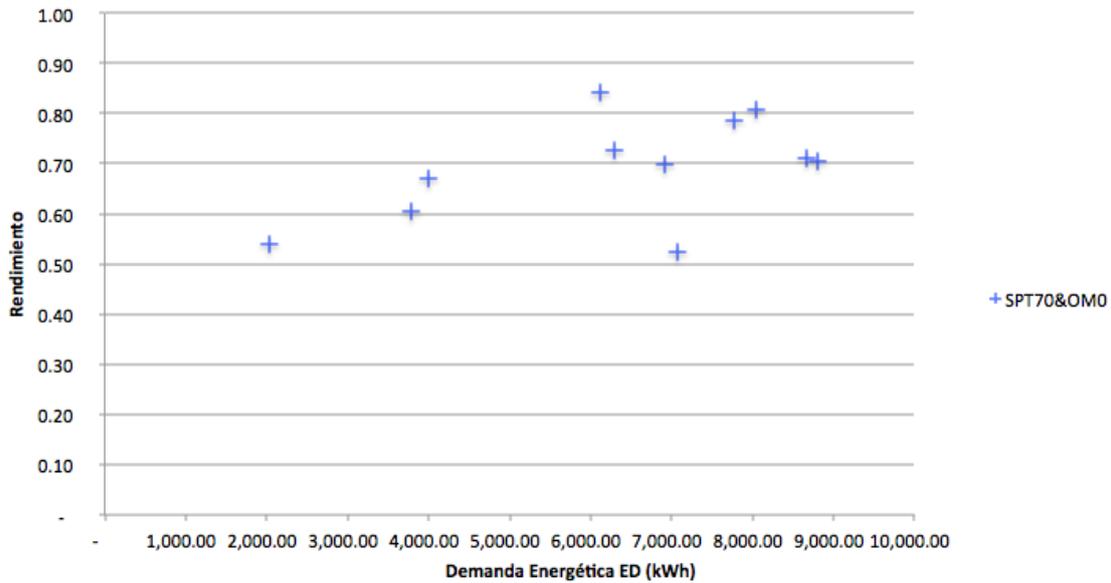


Figura 5.42.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 70°C y OM 0

A la vista de las representaciones gráficas obtenidas, se puede concluir lo siguiente:

- La temperatura exterior no influye apreciablemente sobre el rendimiento.
- La humedad relativa exterior influye aumentando el rendimiento al aumentar esta.
- La demanda calorífica influye aumentando el rendimiento al aumentar esta.

5.7.4.6 SPT7, OM 1

Los resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 70°C y modo de funcionamiento OM1 se pueden ver en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15.- Resultados obtenidos para una temperatura de consigna de 70°C y modo de funcionamiento OM1

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
3	3/3/16	70	1	4.40	55.02	7,307.58	0.71
9	11/3/16	70	1	2.57	53.05	5,644.17	0.53
15	21/3/16	70	1	4.42	67.01	6,570.14	0.55
22	1/4/16	70	1	3.79	47.79	7,015.18	0.70
34	19/4/16	70	1	9.75	66.79	6,873.53	0.65
40	28/4/16	70	1	6.80	58.91	4,655.88	0.65
46	11/5/16	70	1	8.03	60.95	6,087.69	0.71
49	17/5/16	70	1	11.62	53.73	2,541.97	0.69
57	21/10/16	70	1	7.95	53.55	3,204.64	0.67
61	27/10/16	70	1	11.93	64.33	2,717.76	0.60
64	3/11/16	70	1	8.84	57.62	3,626.61	0.65

Muestra	Fecha	SPT	OM	OT (°C)	HR (%)	ED (kWh)	Rend.
72	15/11/16	70	1	4.81	57.49	4,983.43	0.54
85	7/12/16	70	1	3.03	83.96	7,860.83	0.67
90	15/12/16	70	1	4.49	76.77	7,789.33	0.53

Y si estos resultados del rendimiento se grafican en función de los factores exógenos, temperatura exterior, humedad relativa, y demanda energética:

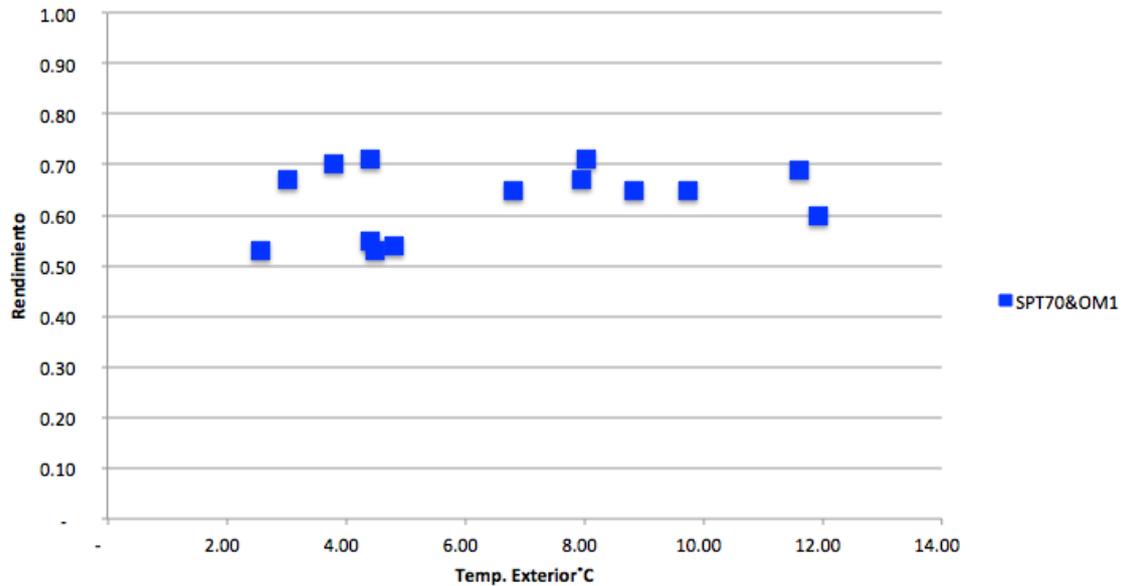


Figura 5.43.- Rendimiento vs Temperatura exterior (OT) con SPT 70°C y OM 1

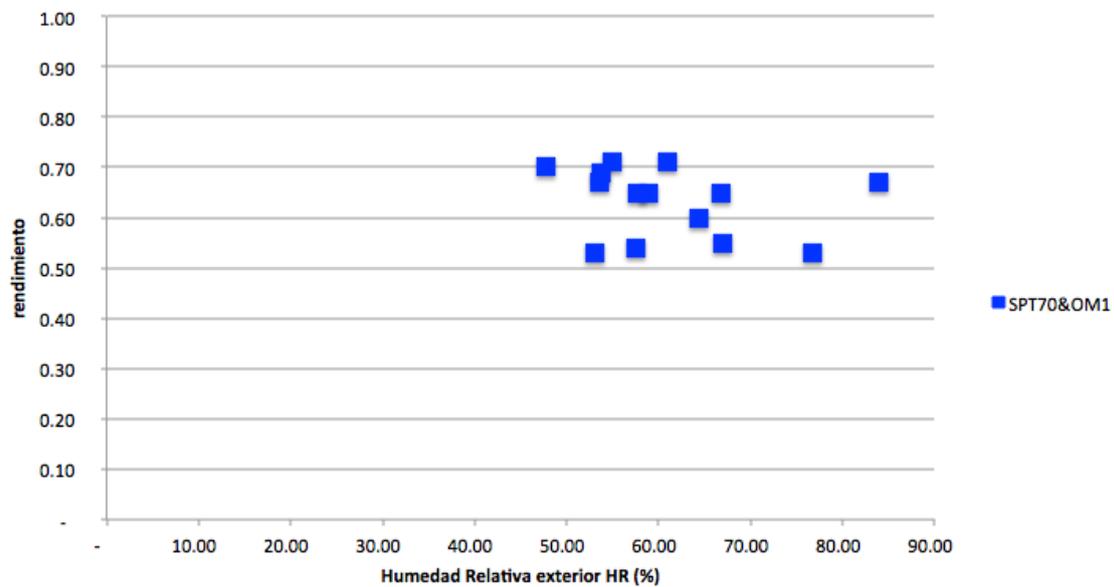


Figura 5.44.- Rendimiento vs Humedad relativa exterior (RH) con SPT 70°C y OM 1

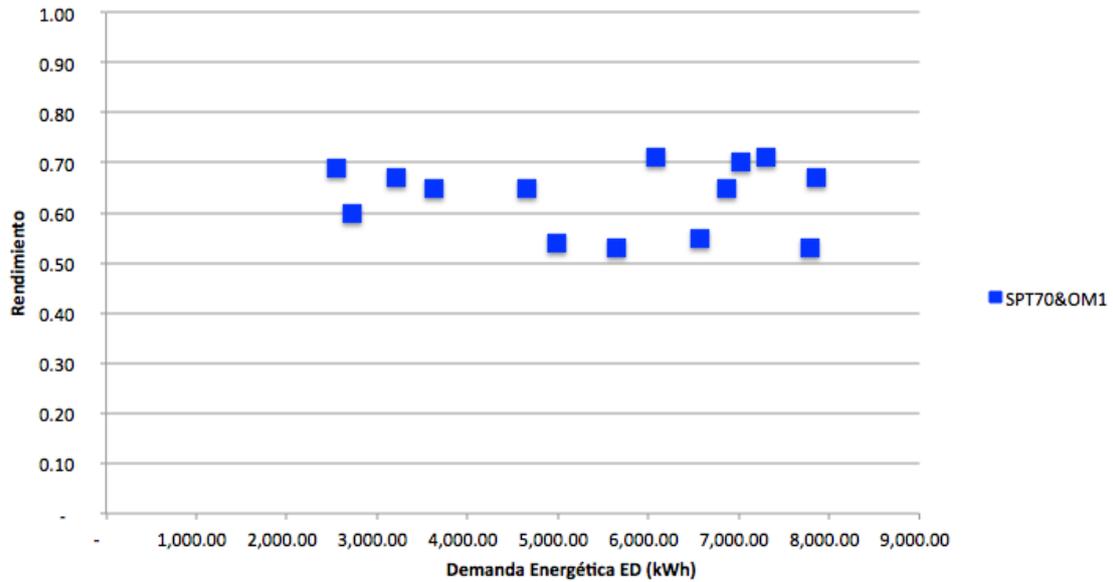


Figura 5.45.- Rendimiento vs Demanda energética (ED) con SPT 70°C y OM 1

A la vista de las representaciones gráficas obtenidas, se puede concluir lo siguiente:

- La temperatura exterior no influye sobre el rendimiento.
- La humedad relativa exterior influye disminuyendo ligeramente el rendimiento al aumentar esta.
- La demanda calorífica no influye claramente sobre el rendimiento.

5.8 ANÁLISIS ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL

Tras analizar los datos durante el año 2016, se obtiene que la demanda energética ED_{Cald} suma un total de 307 047.47 kWh, y la energía total obtenida en la combustión en la caldera E_{GN} suma un total de 466 158.32 kWh, lo cual implica un rendimiento estacional (η_{est}) de 0.66, obtenido de la ecuación 5.7.

$$\eta_{est} = \frac{\sum_{d=1}^{d=98} ED_{Cald_d}}{\sum_{d=1}^{d=98} E_{GN_d}} \quad \text{Ecuación 5.7}$$

Si se tienen en cuenta los diferentes rendimientos que puede tener la instalación de calefacción en función de la temperatura de consigna (SPT) y el modo de funcionamiento (OM), se puede llegar a evaluar el efecto de que la instalación funcione según una configuración u otra, ya que el rendimiento de funcionamiento dependerá de su configuración, mediante los valores de consumo de gas, coste económico que supone, y emisiones de gases de efecto invernadero.

De modo que a continuación se presenta una evaluación económica y ambiental de la repercusión del rendimiento energético del sistema de calefacción en el consumo de gas y en la producción de gases de efecto invernadero como el CO₂.

A partir de los datos recogidos durante el año 2016 se ha cuantificado la demanda energética anual del sistema de calefacción, y la energía consumida en la instalación, de donde se ha obtenido el rendimiento estacional, de esos datos se ha obtenido el consumo de gas, y sabiendo el coste por unidad de volumen, se obtiene el coste económico del consumo de gas en las diferentes condiciones de funcionamiento.

Tabla 5.16.- Resumen de consumos y factores económicos vs SPT y OM

	Con Rend. Promedio	SPT 80°C- OM 0	SPT 80°C- OM 1	SPT 75°C- OM 0	SPT 75°C- OM 1	SPT 70°C- OM 0	SPT 70°C- OM 1
Demand.Energ.	307,047.47	307,047.47	307,047.47	307,047.47	307,047.47	307,047.47	307,047.47
Rendimiento	0.66	0.73	0.68	0.67	0.66	0.69	0.63
Energ.Combus.	466,158.32	420,612.97	451,540.39	458,279.80	465,223.43	444,996.33	487,376.93
PCI (kWh/m3)	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54
m3	40,395.00	36,448.26	39,128.28	39,712.29	40,313.99	38,561.21	42,233.70
€/kWh	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
€	18,646.33	16,824.52	18,061.62	18,331.19	18,608.94	17,799.85	19,495.08

En la Tabla 5.16 se puede ver que utilizar el sistema de calefacción con una configuración SPT80 y OM0 implica un ahorro de 5 785 m³ anuales frente a la configuración más desfavorable SPT70 y OM1, lo cual siempre antes de impuestos a un precio actual de mercado implica un ahorro en combustible de 2 670 € anuales.

Además se puede evaluar la repercusión del consumo de combustible en las emisiones de CO₂, teniendo en cuenta que la tasa de emisión de CO₂ es de 204 gr de CO₂ / kWh [45] y que el factor de absorción de CO₂, según la guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono publicada por el Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación, para el Pinus pinaster en la zona norte interior es de 0.23 t CO₂ /pie a los 20 años [46], se puede obtener que harían falta cerca de 60 árboles más para absorber la producción de CO₂ si el sistema de funcionamiento es el menos eficiente frente al más eficiente.

Tabla 5.17.- Energía térmica. Producción de CO₂ y árboles vs SPT y OM

	Con Rend. Promedio	SPT 80°C- OM 0	SPT 80°C- OM 1	SPT 75°C- OM 0	SPT 75°C- OM 1	SPT 70°C- OM 0	SPT 70°C- OM 1
GWh teóricos	0.47	0.42	0.45	0.46	0.47	0.44	0.49
Tons CO ₂	95.10	85.81	92.11	93.49	94.91	90.78	99.42
Árboles	413.46	373.07	400.50	406.47	412.63	394.69	432.28

En la Tabla 5.17 se puede ver la producción de CO₂ y la cantidad de árboles que serían necesarios para volver a absorberlo para cada uno de los rendimientos posibles según SPT y OM.

Lo cual implica, que durante un año, la producción de CO₂ en el edificio se podría absorber con 374 árboles siempre que el modo de funcionamiento de la instalación fuera SPT80 y OM0, pero si el modo de funcionamiento de la instalación fuera SPT70 y OM1, serían necesarios 433 árboles para absorber ese CO₂ producido, es decir, un total de 59 árboles más.

5.9 CONCLUSIONES

1. La temperatura exterior y la demanda energética están claramente relacionadas, de modo que al aumentar la temperatura exterior, disminuye la demanda energética.
2. El rendimiento con una temperatura de consigna (SPT) 80°C es un 8% superior a cuando se tiene una temperatura de consigna (SPT) 70°C.
3. El rendimiento con (el modo de funcionamiento) OM0 es un 6% superior que con OM1.
4. El rendimiento con SPT80 y OM0 es un 16% superior a si se tiene SPT70 y OM1.
5. La influencia de OT (Temperatura exterior), en el rendimiento de la instalación de calefacción, no está clara.
6. La influencia de la RH (Humedad relativa exterior), en el rendimiento, no está en la mayoría de los casos tampoco clara.
7. La influencia de la demanda energética (ED), en la mayoría de los casos se produce, en el sentido en que al aumentar esta se incrementa ligeramente el rendimiento.
8. No solo no está demostrado, sino que incluso es contraproducente el uso de temperaturas de consigna ligadas a la temperatura exterior, ya que queda demostrado que la temperatura de consigna con mayor rendimiento es la más alta posible.
9. Al igual que en caso anterior, el modo de funcionamiento en condiciones de primavera u otoño, en modo paralelo, daña sensiblemente el rendimiento conseguido en la instalación.

CAPÍTULO 6: FUNCIONAMIENTO EN MODO VERANO. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL EDIFICIO.

6.1 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN.

Originalmente el edificio contaba con una instalación de refrigeración consistente en dos enfriadoras condensadas por aire, las cuales funcionaban correctamente, pero llegó un momento en el que se decidió realizar una modificación en la instalación existente al objeto de acomodar más adecuadamente el uso del edificio, su demanda energética, y el precio de la energía eléctrica.

Este último punto fue el más determinante a la hora de decidir realizar la modificación, y su justificación es la siguiente:

1.- En el año de construcción del edificio (2007), el precio de la energía estaba contenido, con lo que la eficiencia energética no fue el condicionante principal a la hora de la definición del tipo de máquinas a instalar. El precio del kWh estaba en torno a 9 cent.€, de modo que se eligió instalar máquinas condensadas por aire.

2.- A lo largo de los años 2009 hasta el 2012, el precio del kWh aumentó de manera significativa, se llegó a situar el precio del kWh en 17cent. €, lo cual implica un aumento del 88% en el precio de la energía.

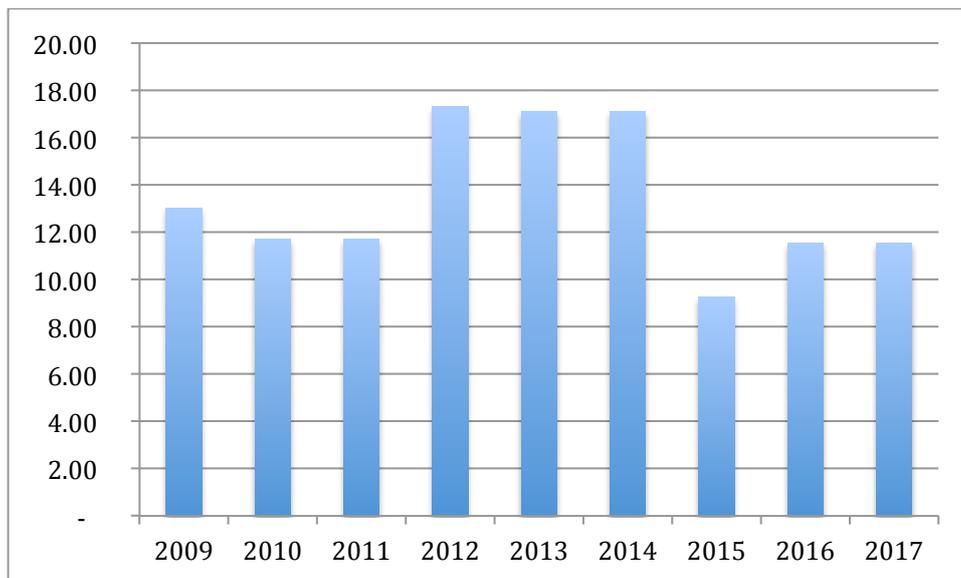


Figura 6.1.- Evolución del precio de la energía eléctrica (kWh) en cent. € durante los años 2009 a 2017 en el P1 de la tarifa 6.1.

3.- La actividad del edificio desde su fecha de inauguración aumentó de manera notable, de modo que en los años próximos a su inauguración prácticamente no se realizaban trabajos por las tardes en los meses de verano, pero unos años más tarde, era práctica habitual que el edificio mantuviera su actividad en horario vespertino.

Es por ello, que se llega a la conclusión de que sería necesaria la instalación de un sistema de refrigeración que cumpliera una serie de requisitos:

- 1) Aumentar significativamente el rendimiento, para con ello disminuir el consumo energético, y por lo tanto la factura eléctrica.
- 2) Aumentar el grado de disponibilidad del sistema, disminuyendo la posibilidad de fallos que obligaran a anular sesiones plenarias en tardes de verano.
- 3) No alterar la estética del edificio.
- 4) Coste de la nueva instalación contenido.
- 5) y Todo ello manteniendo riesgo de Legionela en niveles lo más bajos posibles.

En este punto hay que decir que la Legionela es una bacteria que vive en el agua, o en zonas húmedas, favoreciendo enormemente su difusión las incrustaciones de las máquinas, zonas con suciedad, o con corrosión, ya que es donde tienen más difícil su actuación los agentes desinfectantes [47].

Esta bacteria permanece inactiva por debajo de 20°C, pero entre 20°C y 40°C se vuelve activa y por lo tanto peligrosa en determinadas circunstancias, para determinados sectores de la población.

Da la casualidad que el rango de temperaturas en el cual la bacteria es más activa, corresponde con el rango de temperaturas en el que suelen operar las máquinas condensadoras de las enfriadoras.

Por lo que si se une esa característica, al hecho de que la inhalación de la misma en forma de aerosol puede ocasionar la enfermedad en el ser humano, se obtiene el resultado de que las máquinas enfriadoras condensadas por agua, si no tienen un tratamiento preventivo adecuado, pueden ser peligrosas para la salud humana.

El tratamiento preventivo típico para evitar la proliferación de dichas bacterias se basa en tres pilares:

- 1) El uso de productos químicos desinfectantes (cloro, bromo).
- 2) La limpieza de la máquina para evitar incrustaciones, que es precisamente donde pueden proliferar dichas bacterias.
- 3) Evitar que se produzcan aerosoles que sirvan como medio de transmisión a las bacterias.

A lo largo de los años, los sistemas para evitar el riesgo de Legionela en los sistemas de climatización condensados por agua ha ido evolucionando, desde las torres de refrigeración de circuito abierto a otros sistemas.

Uno de los sistemas más eficientes y que cumplen con esas condiciones de evitar al máximo posible la proliferación de la bacteria son los llamados enfriadores adiabáticos, los cuales presentan como principal ventaja la ausencia de aerosoles de agua en el aire

expulsado para enfriar el condensador, de modo que siguiendo el programa de mantenimiento regular de la máquina, se disminuye de manera muy significativa el riesgo de Legionela.

En este capítulo se estudian comparativamente dos enfriadoras, una condensada por agua (**Water Condensed Chiller, WCC**), y otra condensada por aire (**Air Condensed Chiller, ACC**), en términos de eficiencia energética, reducción de gases de efecto invernadero y parámetros económicos.

La principal característica del estudio es que ambas enfriadoras, forman parte del mismo sistema de refrigeración y están situadas en el mismo edificio, de modo que las condiciones de trabajo para ambas máquinas son las mismas.

Al tratarse de un edificio del sector terciario de un tamaño significativo, se puede obtener como conclusión que los resultados obtenidos se podrían extrapolar a otros edificios terciarios de mayor envergadura como hospitales, hoteles, etc.

6.1.1 Instalación original.

En cuanto a las instalaciones de refrigeración, estas constan de los siguientes elementos principales:

-Instalación de Aire acondicionado:

Estaba formada inicialmente por dos enfriadoras condensadas por aire marca McQuay ALS E 229.2 XE XN, de 834 kW de potencia frigorífica cada una, situadas en el exterior del edificio, y con un coeficiente nominal de eficiencia energética EER de 3.08 según indica su manual técnico.

Dichas enfriadoras contienen un total de 136 kg de gas refrigerante R134a.

Las anteriores máquinas refrigeradoras están conectadas mediante tuberías de 12 pulgadas y a una distancia de más de 180 m a una sala de máquinas, donde se encuentran las bombas que permiten la impulsión del agua enfriada a 7°C hasta cada uno de los elementos terminales (Fancoils y climatizadores), donde tras realizar el intercambio con el aire que va a ser impulsado a cada una de las estancias vuelve de nuevo a 12°C a la sala de máquinas para ser impulsado de nuevo a las máquinas enfriadoras.

La instalación cuenta con equipos de intercambio aire-agua a cuatro tubos, y circuitos de impulsión a diferentes zonas del mismo:

- Circuito de climatizadores.
- Circuito de fancoils plantas baja, 1, y 2.
- Circuito de fancoils plantas 3 y 4.

Cada uno de estos sistemas de climatización proporcionan agua caliente y fría a un total de 250 fancoils y 27 climatizadores.

Todos los elementos terminales anteriores están conectados al sistema de gestión del edificio, el cual permite el control de temperaturas, horarios y modos de funcionamiento.

6.1.2 Instalación alternativa.

Al objeto de cumplir con los condicionantes planteados anteriormente se llegó a la conclusión de que la modificación más adecuada para el edificio, era la instalación de una máquina enfriadora condensada por agua y refrigerada por un enfriador adiabático.

Este nuevo sistema planteado cumplía todos los requerimientos, y sobre todo el más importante, que era mantener controlado en un nivel muy bajo el riesgo de Legionela.

Para ello se estudiaron diferentes máquinas de diferentes marcas, y se llegó a la conclusión de que la máquina más adecuada era la Carrier 30 XW-P0862, la cual dispone de una potencia de enfriamiento nominal de 865 kW, aproximadamente equivalente a una de las máquinas condensadas por aire existentes, con un rendimiento EER nominal de 5.96 según el manual y contiene 145 kg del mismo gas refrigerante R134a.

Esta nueva máquina dispone de dos motores de tornillo gemelos como compresores, con una válvula de capacidad variable, la cual permite que se opere con un flujo de refrigerante variable (sistemas VRF), lo cual incrementa de forma significativa su rendimiento al trabajar a cargas parciales.

Esta característica es especialmente importante, ya que gran parte del tiempo de funcionamiento de la máquina lo hace sin que exista una demanda total por parte de todos los fancoils y climatizadores del edificio.

En la figura Figura 6.2, se puede observar como para disminuir la posibilidad de tasas de fallos del sistema, y realizar la menor cantidad de obra posible, se optó por la instalación de la nueva máquina en paralelo con una de las existentes. Este sistema de conexión permite el trabajo alternativo de las dos máquinas conectadas al mismo circuito, y por lo tanto permite hacer análisis comparativos entre las dos máquinas al disponer ambas de la misma demanda de frío en el edificio, así mismo, en caso de incremento de demanda de frío en el edificio permite conectar la segunda enfriadora condensada por aire en paralelo con cualquiera de las otras dos.

De todos modos, el funcionamiento normal del sistema de climatización en un 95% de las ocasiones es con únicamente la máquina condensada por agua.

El elemento más novedoso de la instalación es el enfriador adiabático, dicho equipo tiene como misión enfriar el agua procedente del condensador de la máquina enfriadora, al objeto de que pueda volver enfriado a la misma y permita que el ciclo frigorífico siga teniendo lugar.

Se trata de un equipo de la marca Baltimore Aircoil Company, modelo Trillium DFCV S9124 M613 D AD.

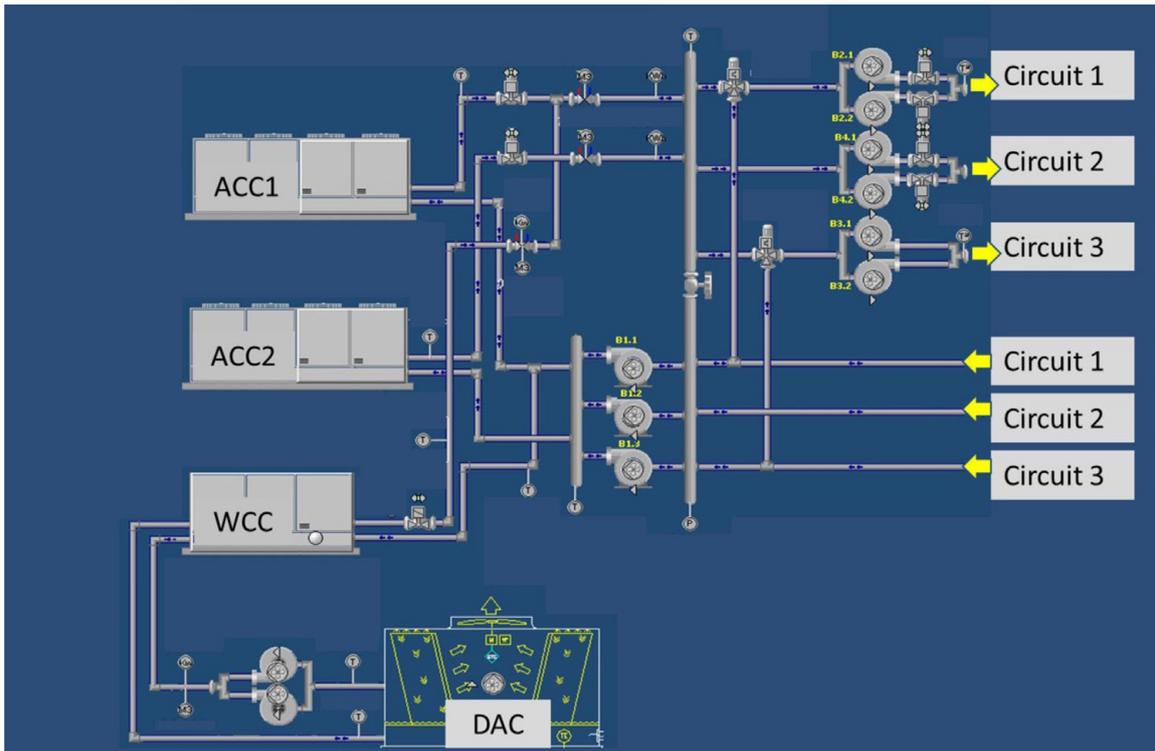


Figura 6.2.- Representación esquemática del sistema inicial y el sistema de enfriamiento alternativo. siendo las máquinas 1 y 2, señaladas como AAC1 y AAC2. (Air Condensed Chillers). las máquinas condensadas por aire. y la señalada con WCC (Water Condensed Chiller). la condensada por agua.

En la Figura 6.2 se puede ver de manera esquemática la representación del sistema de enfriamiento y la distribución de los tres circuitos.

Las principales características de los dos tipos de enfriadoras se puede ver en la tabla Tabla 6.1.

Tabla 6.1.- Principales características de las máquinas refrigeradoras condensadas por aire (ACC), agua (WCC) y enfriador adiabático (DAC).

	ACC	WCC	DAC
Número de unidades	2	1	1
Fabricante	McQuay	Carrier	Batilmore Aircoil
Modelo	ALS E XE 229.2 XN	30 XW-P0862	DFCV S9124 M613
Refrigerante	R134a	R134a	
Refrigerante carga/kg	136	170	
Potencia frigorífica/kW	834	865	
Potencia eléctrica/kW	271	145	
EER Nominal	3.08	5.96	
Potencia calor expulsado/kW			1100

Se puede ver un diagrama esquemático de dicho equipo en la Figura 6.3.

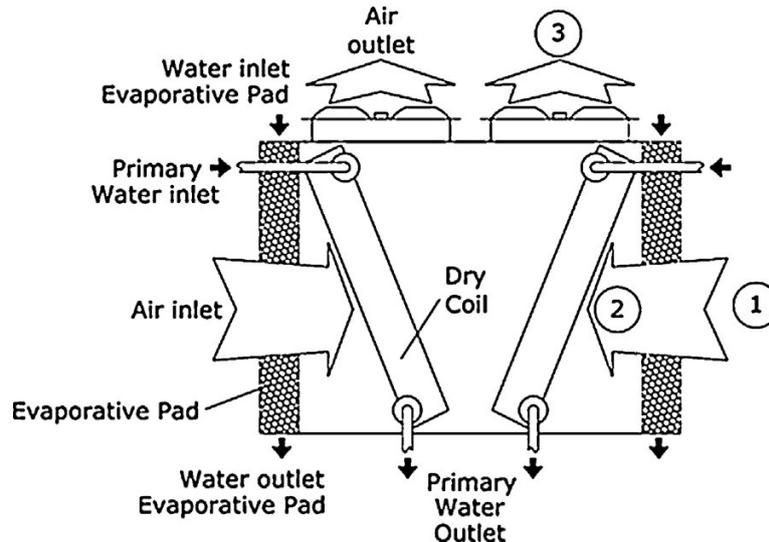


Figura 6.3.- Diagrama esquemático del enfriador adiabático, en el que 1 es la entrada de aire exterior, 2 es el aire tras el proceso evaporativo, y 3 el aire expulsado al exterior.

El enfriador adiabático está compuesto de 2 mantas filtrantes laterales de un material poroso con gran capacidad de absorber agua, aunque originalmente su estado natural es seco, es en estas mantas filtrantes dónde el aire primario exterior es enfriado al pasar por ellas, ese aire tras ser enfriado atraviesa unos intercambiadores de calor (aire-agua) muy sobredimensionados y posteriormente es eliminado por la parte superior del intercambiador.

En la parte superior de la máquina se encuentran 12 ventiladores que arrastran el aire que atraviesa la máquina, y que disponen de variador de frecuencia, y por lo tanto pueden girar a un número de revoluciones variable y provocar por lo tanto, diferentes caudales de aire.

6.1.3 Modos de funcionamiento de la instalación.

La nueva enfriadora condensada por agua (WCC), se instaló en paralelo con las enfriadoras originales del edificio condensadas por aire (ACC1). Este tipo de configuración de conexionado permite múltiples modos de funcionamiento para el sistema de frío del edificio.

El modo de funcionamiento más normal, y en el que es más eficiente el sistema es utilizando la enfriadora condensada por agua trabajando sola, y en casos muy puntuales de demanda de frío por parte del edificio se podría poner en funcionamiento una de las máquinas condensadas por aire (ACC2) para apoyar la producción de agua enfriada.

En caso de avería mientras el edificio está en uso, y especialmente en momentos en los que una ausencia de frío podría conllevar un deterioro importante en el funcionamiento del mismo, la enfriadora principal (WCC) puede ser sustituida por una de las máquinas originales condensadas por aire (ACC), y la otra máquina condensada por aire puede ser conectada para cubrir los picos de demanda puntuales.

El hecho de poder utilizar una enfriadora u otra (condensada por aire o agua), permite realizar estudios comparativos de eficiencia energética de ambos sistemas bajo las

mismas condiciones operacionales en un edificio singular no residencial, lo cual permite convertir todo el sistema de climatización en un “laboratorio a escala real”.

Cuando la máquina enfriadora condensada por agua está funcionando, el objetivo del enfriador adiabático es enfriar el agua primaria proveniente de la enfriadora aproximadamente en 5 grados, desde los 37°C a 32°C.

Para ese propósito, el enfriador comprueba la temperatura del aire exterior, y el agua de salida de él mismo, la humedad relativa y temperatura del aire exterior, y en función de dichos valores ajusta la velocidad de los ventiladores, y el número de veces que los paneles evaporativos deben ser empapados.

En primer lugar, y para asegurar ese enfriamiento de 5°C entre el agua de entrada y salida del enfriador, el aire exterior (punto 1 de la Figura 6.4, evolución A), evoluciona de modo que al pasar a través del panel evaporativo, cuando está seco, no se produce ningún tipo de enfriamiento adiabático (el punto 1 y el punto 2 coinciden en la Figura 6.4), por lo tanto, el aire exterior en las condiciones iniciales ambientales enfría el agua primaria proveniente del condensador de la enfriadora, la cual está circulando por los intercambiadores Aire-Agua del enfriador adiabático, calentándose así mismo (lo cual se puede ver en la Fig.3 desde el punto 2 al punto 3 de la Figura 6.4).

En caso de que sea necesario evacuar más calor del agua, el flujo de aire se incrementará aumentando la velocidad de rotación de los ventiladores.

Cuando la evacuación de calor con el flujo máximo de aire no es suficiente para asegurar el salto térmico de 5°C entre la entrada y la salida de agua primaria, principalmente debido a que existe una temperatura de bulbo seco más alta del aire exterior, el enfriador adiabático comienza a empapar los paneles laterales con agua secundaria exterior, al objeto de conseguir un significativo enfriamiento adiabático del aire exterior, (lo cual se muestra en la Figura 6.4 en la evolución desde el punto 1 al punto 2 en la evolución B), cuando el aire alcance el intercambiador de calor por donde circula el agua primaria, dicho aire realizará un intercambio de calor con el agua circulante y por lo tanto se calentará elevando su temperatura (Figura 6.4 evolución B del punto 2 al punto 3).

El uso de agua proveniente de la red pública, la cual cuenta con un adecuado nivel de cloro, como agua secundaria que empapa los paneles laterales, junto con la ausencia de agua recirculada evita la concentración de impurezas y nutrientes en dicho agua secundaria y por lo tanto inhibe el crecimiento de algas y otros microorganismos que estimulan el crecimiento de la Legionela.

El enfriador adiabático puede funcionar en dos modos claramente diferenciados:

- 1) En el primer modo operacional, el aire atmosférico sin ningún tipo de variación térmica es directamente utilizado para enfriar el agua que proviene del condensador de la máquina enfriadora.
- 2) En el segundo modo operacional, el aire es adiabáticamente pre enfriado al pasar por las mantas laterales, las cuales están especialmente diseñadas para

humedecer y enfriar el aire, disminuyendo al mínimo la cantidad de agua arrastrada.

La evolución del aire al enfriarse para ambos modos operacionales, para valores típicos de temperatura y humedad relativa, se puede ver en el diagrama psicrométrico de la Figura 6.4.

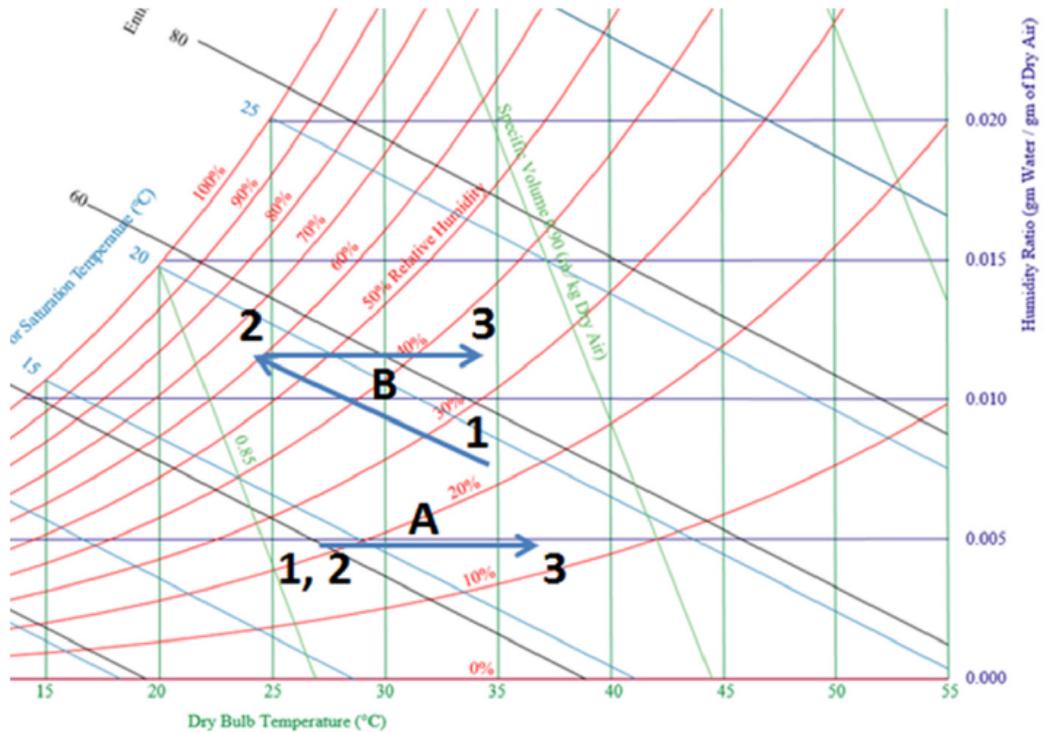


Figura 6.4.- Evolución característica del aire al ser enfriado a través del enfriador adiabático en un diagrama psicrométrico para los dos modos operacionales en los que puede funcionar

La evolución que sigue en aire en el interior del enfriador adiabático es el siguiente:

A.- Un enfriamiento seco y B.- un enfriamiento adiabático, siendo 1 el aire a la entrada, 2 el aire después de las mantas evaporativas, y 3 el aire a la salida de la máquina.

Una de las principales características del sistema es que el agua secundaria utilizada para enfriar los paneles o mantas evaporativas cuando la máquina funciona en el modo operacional B, se utiliza una única vez, y el exceso del agua que empapa los paneles va directamente al drenaje. Además no existen aerosoles de agua provenientes del panel evaporativo, lo cual elimina el riesgo de Legionela.

6.2 INDICADORES ENERGÉTICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN.

La enfriadora condensada por agua y la condensada por aire, ambas conectadas al sistema de climatización del edificio fueron utilizadas indistintamente durante los veranos de 2013 y 2014 al objeto de tener suficientes datos para comparar el funcionamiento de ambos sistemas bajo similares condiciones de operación en el mismo edificio. Mientras el sistema de adquisición de datos programado se dedicaba a recabar los datos de múltiples variables del sistema, temperaturas del agua enfriada en las máquinas, flujos másicos, condiciones ambientales, consumos eléctricos, etc.

Con dichos datos adquiridos se ha realizado un estudio energético, económico y ambiental. A su vez, con dichos datos se ha realizado un estudio de eficiencia midiendo el coeficiente de eficiencia (EER) tanto instantáneo como estacional en ambas máquinas (condensadas por aire y agua), y posteriormente han sido comparados.

También se ha realizado un estudio económico, para estudiar la rentabilidad de la inversión necesaria para sustituir una de las máquinas enfriadoras convencionales condensadas por aire, por una nueva máquina condensada por agua con un enfriador adiabático, para ello se ha calculado el valor neto actual (Net Present Value NPV), el período de retorno (Simple Payback Period SPP), y la tasa interna de retorno de la inversión (IRR). Para realizar dichos cálculos se ha utilizado un software comercial de análisis de proyectos (Retscreen) [48].

Para la realización del análisis económico se utilizan como datos de entrada, los coeficientes de eficiencia de ambas máquinas obtenidas en períodos similares y el precio de la energía eléctrica para cada uno de los períodos.

También se estudia el impacto de la mejora de la eficiencia como consecuencia de utilizar una máquina enfriadora condensada por agua con el enfriador adiabático en la emisión de gases de efecto invernadero teniendo en cuenta el caso concreto de mix energético que existe actualmente en España.

6.2.1 Capacidad de enfriamiento y consumo de energía eléctrica.

La potencia de enfriamiento (\dot{Q}_{evap}) de las enfriadoras, ya sean condensadas por aire, o por agua, se puede obtener mediante un balance de energías aplicado al sistema “enfriadora”, para ello se pueden utilizar los valores del flujo másico del agua enfriada (\dot{m}), así como su temperatura a la entrada (T_i) y a la salida (T_o) del evaporador de la máquina enfriadora, tal y como se muestra en la Ec. 6.1:

$$Q_{evap} = \dot{m} \cdot c \cdot (T_i - T_o) \quad \text{Ecuación 6.1}$$

donde c representa la capacidad calorífica del agua ($4.19 \text{ kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$).

La energía eléctrica consumida por la enfriadora (W_{el}) se obtiene a partir de los datos de tensión (V) y corriente consumidas, mediante la Ec. 6.2:

$$W_{el} = V \cdot I \quad \text{Ecuación 6.2}$$

Utilizando estas ecuaciones, se han obtenido 115 valores de la energía térmica de enfriamiento (Q_{evap}) producida en las máquinas y de la energía eléctrica consumida por la máquina enfriadora condensada por agua (W_{el}) y 60 valores para la máquina enfriadora condensada por aire, en kWh. Las columnas 6 y 7 muestran los resultados para la enfriadora condensada por agua Tabla 6.2 y la condensada por aire Tabla 6.3.

6.2.2 Coeficiente de eficiencia energética instantánea.

Con el objetivo de estudiar la eficiencia energética de ambos sistemas de enfriamiento, se han obtenido los coeficientes de eficiencia energética (EER Energy Efficiency Ratio) para cada uno de los sistemas a partir de los datos de energía térmica producida y energía eléctrica consumida.

Para ello, se ha utilizado un procedimiento consistente en integrar en intervalos regulares de 30 minutos los valores instantáneos producidos de capacidad de enfriamiento y energía consumida por la máquina enfriadora en condiciones de operación estacionarias, esto es, una vez que la máquina se ha puesto en marcha y se han estabilizado los valores de las variables térmicas y eléctricas.

Para tales condiciones, el coeficiente de eficiencia energética en intervalos de 30 minutos (EER_{30}) se calcula según la Ec. 6.3

$$EER_{30} = \frac{\Sigma(\dot{Q}_{evap} \cdot \Delta t)}{\Sigma(W_{el} \cdot \Delta t)} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

Donde Q_{evap} y W_{el} son la capacidad de enfriamiento instantánea y la energía eléctrica consumida respectivamente, y Δt es el tiempo en segundos.

La magnitud W_{el} incluye no solo la energía eléctrica consumida por la máquina en si misma, sino además, la energía consumida por el circuito de bombas primario y secundario de la instalación, y en el caso de la máquina condensada por agua, la energía consumida por los ventiladores del enfriador adiabático.

Utilizando el procedimiento descrito anteriormente, se obtienen 115 valores de $EER_{WCC,30}$ para la máquina condensada por agua y 60 valores de $EER_{ACC,30}$ para la máquina condensada por aire.

Las últimas columnas de la Tabla 6.2 y de la Tabla 6.3 muestran los resultados del EER de las máquinas condensadas por agua y por aire respectivamente.

6.3 ENSAYOS REALIZADOS

Como ya se ha relatado anteriormente, los resultados experimentales estudiados en este trabajo, fueron obtenidos experimentalmente durante los veranos de 2013 y 2014. La enfriadora condensada por agua y las condensadas por aire correspondientes a todo el sistema de climatización del edificio se utilizaron de forma indistinta al objeto de disponer de datos suficientes para poder comparar la eficiencia de ambos sistemas bajo las mismas condiciones y para el mismo edificio, lo que supone la misma demanda de frío.

Los datos que se presentan en la Tabla 6.2 y en la Tabla 6.3 son datos relativos a cerca de 48 días durante los años relatados anteriormente, en los que se produjeron diferentes condiciones ambientales, de demanda energética por parte del edificio, y por lo tanto ambas máquinas trabajaron tanto a cargas parciales como a cargas completas.

Se estuvieron registrando de manera continua datos de ambos sistemas, como temperaturas del agua, variaciones del flujo másico, condiciones ambientales, corriente, tensión, etc., que quedaron registrados en el sistema de gestión del edificio.

Las columnas número 1 y 2 de la Tabla 6.2 y de la Tabla 6.3 representan la fecha y la hora de cada uno de los muestreos de datos, las columnas 3 y 4, muestran la temperatura ambiente, y la humedad relativa, la columna 5 muestra la humedad absoluta calculada, la columna 6 muestra la energía térmica producida, la columna 7 muestra la energía eléctrica consumida, y la columna 8 muestra el rendimiento de la instalación cada 30 minutos.

Tabla 6.2.- Temperatura ambiental media (T_0), humedad relativa (HR_0) y humedad absoluta (w_0) energía de enfriamiento producida (Q_{evap}) y energía eléctrica consumida (W_{elec}), durante intervalos de 30 minutos y coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por agua durante los veranos de los años 2013 y 2014 ($EER_{WCC.30}$)

Fecha	Hora	T_0	HR_0	w_0	Q_{evap}	W_{elec}	$EER_{WCC.30}$
dd/mm/yyyy	hh:mm	°C	%	$g \cdot kg^{-1}$	kWh	kWh	
03/07/2013	11:42	23.2	52	10.0	215.1	65.8	3.3
	12:12	23.5	50	10.0	178.2	56.1	3.2
10/07/2013	10:03	23.2	59	11.5	431.2	113.0	3.8
	10:33	24.0	58	11.8	413.1	109.1	3.8
	11:03	24.6	56	11.8	399.2	107.3	3.7
	11:33	25.4	53	11.7	384.1	107.6	3.6
	12:03	25.9	51	11.6	370.1	107.9	3.4
	12:33	26.3	49	11.5	202.1	60.4	3.3
	12:50	26.5	48	11.4	309.1	108.5	2.8
15/07/2013	11:00	22.1	53	9.6	371.0	95.2	3.9
	12:00	24.0	45	9.1	452.9	107.6	4.2
	12:30	24.6	43	9.1	437.0	107.6	4.1
	13:00	25.2	42	9.1	422.6	107.0	3.9
17/07/2013	9:31	19.7	62	9.7	340.9	90.2	3.8
	10:01	20.3	61	9.9	423.8	106.0	4.0
	10:31	21.0	59	10.1	402.5	106.7	3.8
	11:01	21.8	57	10.2	381.1	107.6	3.5
	11:31	22.4	55	10.2	218.3	65.2	3.3
	11:59	23.0	53	10.1	121.5	40.1	3.0
18/07/2013	10:58	20.9	60	10.1	362.3	104.3	3.5

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Fecha	Hora	T ₀	HR ₀	w ₀	Q _{evap}	W _{elec}	EER _{wcc.30}
dd/mm/yyyy	hh:mm	°C	%	g·kg ⁻¹	kWh	kWh	
	11:28	21.9	57	10.3	265.3	78.0	3.4
	12:05	23.2	53	10.3	305.6	95.7	3.2
	12:35	23.7	51	10.2	167.7	47.1	3.6
22/07/2013	9:38	22.3	51	9.3	451.6	111.7	4.0
	10:08	22.9	49	9.3	447.1	111.3	4.0
	10:38	23.4	47	9.3	418.3	111.0	3.8
	11:08	23.9	47	9.5	402.8	109.1	3.7
	11:38	24.4	46	9.5	240.9	63.4	3.8
	12:07	25.1	44	9.5	275.1	82.7	3.3
24/07/2013	9:31	21.3	57	9.9	346.5	92.8	3.7
	10:01	21.8	53	9.5	428.0	113.0	3.8
	10:31	22.6	49	9.2	401.2	114.3	3.5
	11:02	23.3	45	8.8	195.8	58.8	3.3
	11:29	23.8	43	8.5	113.8	38.5	3.0
25/07/2013	9:31	22.4	60	11.0	358.6	96.6	3.7
	10:01	23.0	58	11.1	435.8	116.7	3.7
	10:31	23.5	57	11.3	409.3	118.0	3.5
	11:01	24.0	55	11.2	389.5	118.9	3.3
	11:43	24.8	53	11.3	329.5	105.5	3.1
	12:13	25.4	51	11.4	75.9	24.1	3.1
29/07/2013	11:01	18.1	56	7.9	283.1	72.2	3.9
	11:40	18.6	52	7.7	342.0	93.8	3.6
	12:10	19.0	51	7.6	64.0	16.8	3.8
31/07/2013	9:31	21.3	44	7.5	345.3	92.0	3.8
	10:01	22.0	41	7.4	392.3	101.2	3.9
	10:50	23.6	36	7.2	340.9	96.0	3.6
	11:20	24.3	33	6.9	120.6	30.0	4.0
	11:50	25.6	31	7.0	336.2	107.8	3.1
	12:20	25.9	31	7.1	81.4	28.2	2.9
01/08/2013	9:11	23.3	36	7.0	379.1	101.6	3.7
	9:41	23.7	37	7.3	428.4	119.9	3.6
	10:11	24.1	37	7.5	145.2	42.8	3.4
	10:33	25.0	35	7.5	222.4	69.7	3.2
	11:04	26.1	32	7.4	225.4	72.8	3.1
06/08/2013	9:13	18.6	71	10.4	336.0	86.9	3.9
	10:00	19.1	69	10.5	167.9	47.4	3.5
	10:27	19.6	67	10.5	221.3	60.5	3.7
07/08/2013	10:04	18.7	53	7.7	349.4	88.9	3.9
	10:34	19.3	50	7.6	183.3	44.1	4.2
	10:59	19.5	50	7.7	150.5	43.1	3.5
	11:24	20.1	50	8.1	190.7	57.3	3.3
14/07/2014	10:05	23.6	62	12.3	378.1	80.4	4.7
	10:40	28.1	58	15.2	434.4	105.4	4.1
	11:15	32.2	48	16.1	378.3	77.0	4.9
	11:50	35.6	45	18.0	277.1	77.7	3.6
	12:20	38.2	43	20.0	263.0	83.5	3.1
15/07/2014	9:35	21.8	65	11.7	306.3	66.3	4.6
	10:05	24.9	63	13.5	414.3	107.4	3.9
	10:40	30.6	59	17.9	285.5	76.4	3.7
	11:15	36.5	57	24.2	252.7	73.6	3.4
16/07/2014	9:05	22.9	48	9.2	329.8	111.3	3.0
	9:40	24.5	41	8.6	409.1	103.2	4.0

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Fecha	Hora	T ₀	HR ₀	w ₀	Q _{evap}	W _{elec}	EER _{wcc.30}
dd/mm/yyyy	hh:mm	°C	%	g·kg ⁻¹	kWh	kWh	
17/07/2014	10:10	27.8	41	10.5	411.5	100.6	4.1
	10:45	33.6	40	14.5	366.8	90.9	4.0
	11:15	37.8	37	16.7	349.0	102.3	3.4
	9:35	24.7	39	8.3	305.8	57.4	5.3
	10:05	27.2	40	9.8	427.1	111.9	3.8
21/07/2014	10:40	31.6	38	12.1	386.1	89.9	4.3
	11:15	39.2	38	18.3	299.3	84.2	3.6
	10:05	21.0	62	10.6	431.2	104.9	4.1
	10:40	25.1	58	12.7	419.6	109.5	3.8
	11:15	28.8	57	15.4	402.1	99.6	4.0
23/07/2014	11:50	32.4	54	18.2	306.5	86.7	3.5
	12:25	36.4	51	21.3	279.2	78.5	3.6
	13:00	39.2	46	22.8	280.8	76.2	3.7
	9:56	21.8	64	11.5	421.6	100.1	4.2
	10:31	26.4	62	14.6	387.5	101.5	3.8
24/07/2014	11:06	32.5	58	19.8	286.3	91.8	3.1
	11:41	36.1	53	22.0	292.1	85.1	3.4
	10:10	25.8	58	13.2	419.4	109.5	3.8
	10:45	31.0	56	17.3	361.1	78.3	4.6
	11:20	36.1	54	22.7	289.4	82.6	3.5
28/07/2014	11:55	39.7	51	26.2	291.3	75.6	3.9
	10:05	21.8	54	9.7	387.7	103.1	3.8
	10:40	26.7	53	12.7	434.3	111.6	3.9
	11:10	29.4	49	13.8	396.6	111.5	3.6
	12:31	34.0	41	15.1	397.7	107.4	3.7
22/08/2014	13:06	35.0	36	13.8	338.0	94.4	3.6
	13:36	35.2	33	13.0	328.6	89.3	3.7
	14:11	39.1	36	17.5	208.0	52.9	3.9
	12:18	18.1	68	9.7	237.1	63.9	3.7
	12:48	19.2	66	10.1	239.5	65.2	3.7
26/08/2014	13:18	19.6	64	10.0	103.0	28.4	3.6
	10:40	24.6	66	14.0	380.8	97.8	3.9
	11:10	27.3	64	15.9	432.2	114.3	3.8
	11:40	28.5	60	16.2	398.9	113.3	3.5
	12:10	30.3	58	17.3	301.7	81.8	3.7
29/08/2014	12:40	27.6	56	14.3	279.5	80.0	3.5
	13:10	27.1	54	13.3	264.1	78.2	3.4
	10:48	26.7	64	15.4	384.8	98.4	3.9
	11:18	30.3	61	18.2	434.9	114.7	3.8
	11:48	33.6	58	21.0	400.4	113.9	3.5
29/08/2014	12:18	33.4	55	19.8	298.5	80.9	3.7
	12:48	28.1	52	13.6	285.9	81.4	3.5
	13:18	28.5	49	13.1	91.1	25.3	3.6

Tabla 6.3.- Temperatura ambiental media (T_0), humedad relativa (HR_0) y humedad absoluta (w_0), energía de enfriamiento producida (Q_{evap}) y energía eléctrica consumida (W_{elec}) durante intervalos de 30 minutos y coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por aire durante los veranos de los años 2013 y 2014 ($EER_{ACC.30}$)

Fecha	Hora	T_0	HR_0	w_0	Q_{evap}	W_{elec}	$EER_{ACC.30}$
dd/mm/yyyy	hh:mm	°C	%	$g \cdot kg^{-1}$	kWh	kWh	
03/07/2013	11:42	23.2	52	10.0	215.1	65.8	3.3
	12:12	23.5	50	10.0	178.2	56.1	3.2
10/07/2013	10:03	23.2	59	11.5	431.2	113.0	3.8
	10:33	24.0	58	11.8	413.1	109.1	3.8
	11:03	24.6	56	11.8	399.2	107.3	3.7
	11:33	25.4	53	11.7	384.1	107.6	3.6
	12:03	25.9	51	11.6	370.1	107.9	3.4
	12:33	26.3	49	11.5	202.1	60.4	3.3
15/07/2013	12:50	26.5	48	11.4	309.1	108.5	2.8
	11:00	22.1	53	9.6	371.0	95.2	3.9
	12:00	24.0	45	9.1	452.9	107.6	4.2
	12:30	24.6	43	9.1	437.0	107.6	4.1
	13:00	25.2	42	9.1	422.6	107.0	3.9
17/07/2013	9:31	19.7	62	9.7	340.9	90.2	3.8
	10:01	20.3	61	9.9	423.8	106.0	4.0
	10:31	21.0	59	10.1	402.5	106.7	3.8
	11:01	21.8	57	10.2	381.1	107.6	3.5
	11:31	22.4	55	10.2	218.3	65.2	3.3
	11:59	23.0	53	10.1	121.5	40.1	3.0
18/07/2013	10:58	20.9	60	10.1	362.3	104.3	3.5
	11:28	21.9	57	10.3	265.3	78.0	3.4
	12:05	23.2	53	10.3	305.6	95.7	3.2
	12:35	23.7	51	10.2	167.7	47.1	3.6
22/07/2013	9:38	22.3	51	9.3	451.6	111.7	4.0
	10:08	22.9	49	9.3	447.1	111.3	4.0
	10:38	23.4	47	9.3	418.3	111.0	3.8
	11:08	23.9	47	9.5	402.8	109.1	3.7
	11:38	24.4	46	9.5	240.9	63.4	3.8
	12:07	25.1	44	9.5	275.1	82.7	3.3
24/07/2013	9:31	21.3	57	9.9	346.5	92.8	3.7
	10:01	21.8	53	9.5	428.0	113.0	3.8
	10:31	22.6	49	9.2	401.2	114.3	3.5
	11:02	23.3	45	8.8	195.8	58.8	3.3
	11:29	23.8	43	8.5	113.8	38.5	3.0
25/07/2013	9:31	22.4	60	11.0	358.6	96.6	3.7
	10:01	23.0	58	11.1	435.8	116.7	3.7
	10:31	23.5	57	11.3	409.3	118.0	3.5
	11:01	24.0	55	11.2	389.5	118.9	3.3
	11:43	24.8	53	11.3	329.5	105.5	3.1
	12:13	25.4	51	11.4	75.9	24.1	3.1
29/07/2013	11:01	18.1	56	7.9	283.1	72.2	3.9
	11:40	18.6	52	7.7	342.0	93.8	3.6
	12:10	19.0	51	7.6	64.0	16.8	3.8
31/07/2013	9:31	21.3	44	7.5	345.3	92.0	3.8
	10:01	22.0	41	7.4	392.3	101.2	3.9
	10:50	23.6	36	7.2	340.9	96.0	3.6
	11:20	24.3	33	6.9	120.6	30.0	4.0
	11:50	25.6	31	7.0	336.2	107.8	3.1

ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO SINGULAR

Fecha	Hora	T ₀	HR ₀	w ₀	Q _{evap}	W _{elec}	EER _{ACC.30}
dd/mm/yyyy	hh:mm	°C	%	g·kg ⁻¹	kWh	kWh	
	12:20	25.9	31	7.1	81.4	28.2	2.9
01/08/2013	9:11	23.3	36	7.0	379.1	101.6	3.7
	9:41	23.7	37	7.3	428.4	119.9	3.6
	10:11	24.1	37	7.5	145.2	42.8	3.4
	10:33	25.0	35	7.5	222.4	69.7	3.2
	11:04	26.1	32	7.4	225.4	72.8	3.1
06/08/2013	9:13	18.6	71	10.4	336.0	86.9	3.9
	10:00	19.1	69	10.5	167.9	47.4	3.5
	10:27	19.6	67	10.5	221.3	60.5	3.7
07/08/2013	10:04	18.7	53	7.7	349.4	88.9	3.9
	10:34	19.3	50	7.6	183.3	44.1	4.2
	10:59	19.5	50	7.7	150.5	43.1	3.5
	11:24	20.1	50	8.1	190.7	57.3	3.3
14/07/2014	10:05	23.6	62	12.3	378.1	80.4	4.7
	10:40	28.1	58	15.2	434.4	105.4	4.1
	11:15	32.2	48	16.1	378.3	77.0	4.9
	11:50	35.6	45	18.0	277.1	77.7	3.6
	12:20	38.2	43	20.0	263.0	83.5	3.1
15/07/2014	9:35	21.8	65	11.7	306.3	66.3	4.6
	10:05	24.9	63	13.5	414.3	107.4	3.9
	10:40	30.6	59	17.9	285.5	76.4	3.7
	11:15	36.5	57	24.2	252.7	73.6	3.4
16/07/2014	9:05	22.9	48	9.2	329.8	111.3	3.0
	9:40	24.5	41	8.6	409.1	103.2	4.0
	10:10	27.8	41	10.5	411.5	100.6	4.1
	10:45	33.6	40	14.5	366.8	90.9	4.0
	11:15	37.8	37	16.7	349.0	102.3	3.4
17/07/2014	9:35	24.7	39	8.3	305.8	57.4	5.3
	10:05	27.2	40	9.8	427.1	111.9	3.8
	10:40	31.6	38	12.1	386.1	89.9	4.3
	11:15	39.2	38	18.3	299.3	84.2	3.6
21/07/2014	10:05	21.0	62	10.6	431.2	104.9	4.1
	10:40	25.1	58	12.7	419.6	109.5	3.8
	11:15	28.8	57	15.4	402.1	99.6	4.0
	11:50	32.4	54	18.2	306.5	86.7	3.5
	12:25	36.4	51	21.3	279.2	78.5	3.6
	13:00	39.2	46	22.8	280.8	76.2	3.7
23/07/2014	9:56	21.8	64	11.5	421.6	100.1	4.2
	10:31	26.4	62	14.6	387.5	101.5	3.8
	11:06	32.5	58	19.8	286.3	91.8	3.1
	11:41	36.1	53	22.0	292.1	85.1	3.4
24/07/2014	10:10	25.8	58	13.2	419.4	109.5	3.8
	10:45	31.0	56	17.3	361.1	78.3	4.6
	11:20	36.1	54	22.7	289.4	82.6	3.5
	11:55	39.7	51	26.2	291.3	75.6	3.9
28/07/2014	10:05	21.8	54	9.7	387.7	103.1	3.8
	10:40	26.7	53	12.7	434.3	111.6	3.9
	11:10	29.4	49	13.8	396.6	111.5	3.6
	12:31	34.0	41	15.1	397.7	107.4	3.7
	13:06	35.0	36	13.8	338.0	94.4	3.6
	13:36	35.2	33	13.0	328.6	89.3	3.7
	14:11	39.1	36	17.5	208.0	52.9	3.9

Fecha	Hora	T ₀	HR ₀	w ₀	Q _{evap}	W _{elec}	EER _{ACC.30}
dd/mm/yyyy	hh:mm	°C	%	g·kg ⁻¹	kWh	kWh	
22/08/2014	12:18	18.1	68	9.7	237.1	63.9	3.7
	12:48	19.2	66	10.1	239.5	65.2	3.7
	13:18	19.6	64	10.0	103.0	28.4	3.6
26/08/2014	10:40	24.6	66	14.0	380.8	97.8	3.9
	11:10	27.3	64	15.9	432.2	114.3	3.8
	11:40	28.5	60	16.2	398.9	113.3	3.5
	12:10	30.3	58	17.3	301.7	81.8	3.7
	12:40	27.6	56	14.3	279.5	80.0	3.5
	13:10	27.1	54	13.3	264.1	78.2	3.4
29/08/2014	10:48	26.7	64	15.4	384.8	98.4	3.9
	11:18	30.3	61	18.2	434.9	114.7	3.8
	11:48	33.6	58	21.0	400.4	113.9	3.5
	12:18	33.4	55	19.8	298.5	80.9	3.7
	12:48	28.1	52	13.6	285.9	81.4	3.5
	13:18	28.5	49	13.1	91.1	25.3	3.6

6.3.1 Coeficiente de eficiencia energética estacional

La Ec. 6.3 se puede utilizar para calcular el coeficiente de eficiencia energética estacional de ambas enfriadoras (condensadas por agua y por aire), para la totalidad de la estación de funcionamiento, simplemente integrando la capacidad de enfriamiento y el consumo eléctrico de las máquinas para todo el período de tiempo considerado, en lugar de para cada 30 minutos como se ha hecho para calcular los coeficientes de eficiencia parciales.

Utilizando este procedimiento, se obtiene los valores de $EER_{WCC.season}$ y $EER_{ACC.season}$ para la totalidad de los veranos de 2013 y 2014 ya sea de manera individual para cada uno de ellos, o para ambos juntos. Los valores obtenidos se puede ver en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4.- Coeficiente de eficiencia energética estacional de la enfriadora condensada por agua y la enfriadora condensada por aire. $EER_{WCC.30}$ y $EER_{ACC.30}$ durante los veranos de 2013 y 2014. tanto de manera individual, como de manera conjunta.

	$EER_{WCC.season}$	$EER_{ACC.season}$
Verano 2013	3.61	2.01
Verano 2014	3.80	1.74
Verano 2013 + Verano 2014	3.70	1.87

Para el coeficiente de eficiencia energética de la máquina condensada por aire se obtiene una valor de 2.01 para el verano de 2013 y de 1.74 para el verano de 2014. El valor promedio ponderado por el número de datos obtenidos para cada época estacional llega a ser de 1.87.

Para el coeficiente de eficiencia energética de la máquina condensada por agua se obtiene una valor de 3.61 para el verano de 2013 y de 3.80 para el verano de 2014, los cuales son bastante similares. El valor promedio ponderado por el número de datos obtenidos para cada época estacional llega a ser de 3.70.

Como se puede ver, el valor del coeficiente de eficiencia energética estacional de la máquina condensada por agua es el doble que de la máquina condensada por aire.

6.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

6.4.1 Análisis energético.

A continuación se realiza un estudio comparativo entre el coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por agua y la condensada por aire.

Los datos recogidos en la Tabla 6.2 y en la Tabla 6.3 muestran 175 valores del coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por agua y la condensada por aire calculados a partir de 48 días durante los veranos de 2013 y 2014, en los cuales hubo diferentes condiciones ambientales, diferentes demandas de frío por parte del edificio, y tanto a cargas completas, como a cargas parciales.

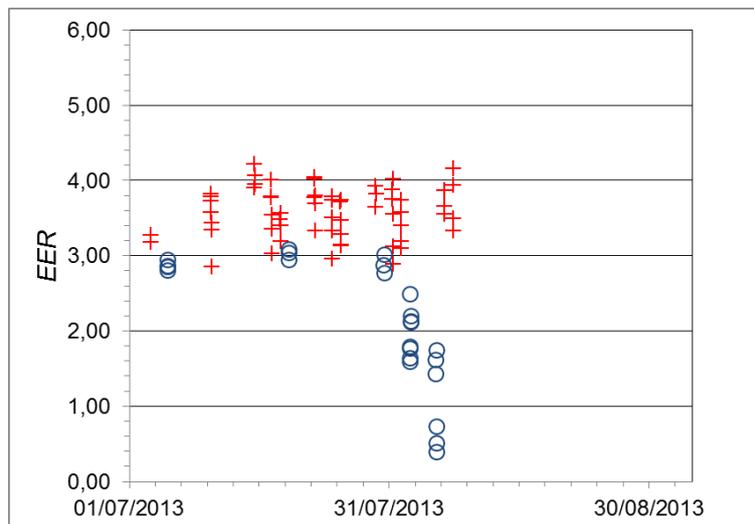


Figura 6.5.- EERWCC.30 (+), y EERACC.30 (o) en función de los datos del verano de 2013.

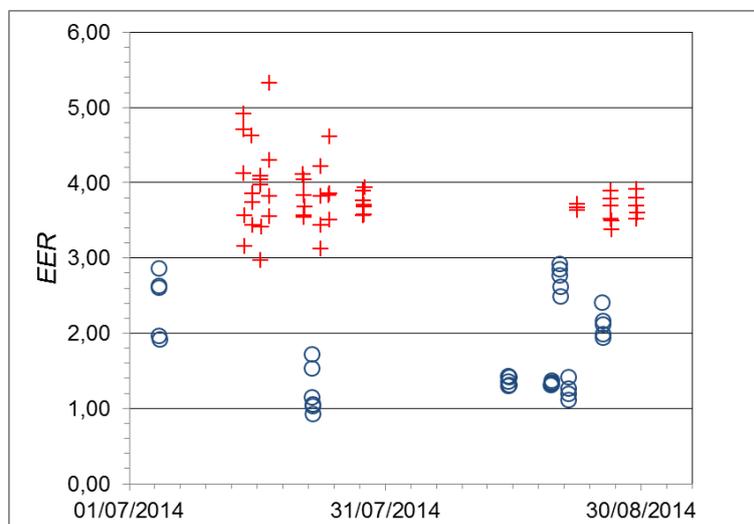


Figura 6.6.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de la fecha para el verano de 2014.

La Figura 6.5 y la Figura 6.6 muestran los coeficientes de eficiencia energética estacional EERWCC.30 y el EERACC.30 en función de la fecha, únicamente para mostrar que la enfriadora condensada por agua y la condensada por aire han sido utilizadas de manera indiscriminada durante toda la temporada de utilización de las máquinas productoras de frío durante los veranos de 2013 y 2014, y por lo tanto, los datos recogidos en la Tabla 6.2 y en la Tabla 6.3 pueden utilizarse para comparar la eficiencia energética de ambos sistemas, así como la estabilidad de dichos sistemas bajo condiciones de cambios en las variables ambientales.

El número de valores de EERWCC.30 calculados durante el verano de 2013 es de 61 y de 54 durante el verano de 2014.

Por otra parte, el número de valores de EERACC.30 calculados para el verano de 2013 es de 24 y de 36 para el verano de 2014.

La Figura 6.7, la Figura 6.8 y la Figura 6.9, representan EERWCC.30 y EERACC.30 en función de la temperatura exterior, la humedad relativa exterior y la humedad absoluta exterior. Todo ello con el objeto de analizar la influencia de las condiciones ambientales sobre el EER de la enfriadora condensada por agua, y la condensada por aire.

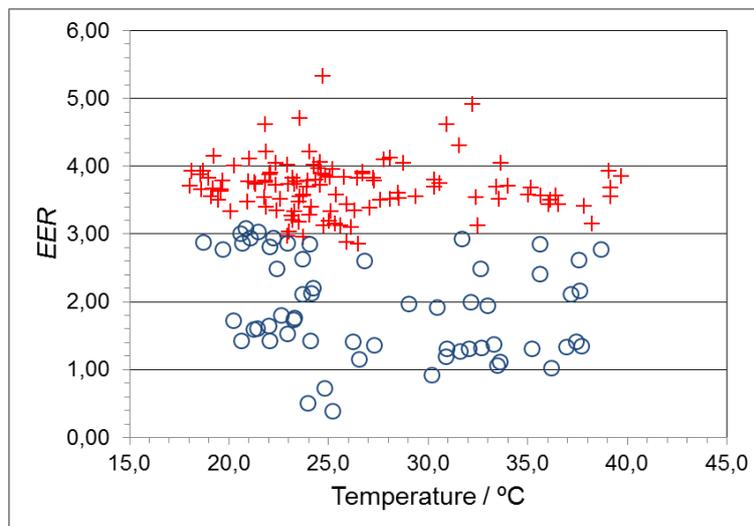


Figura 6.7.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de la temperatura exterior.

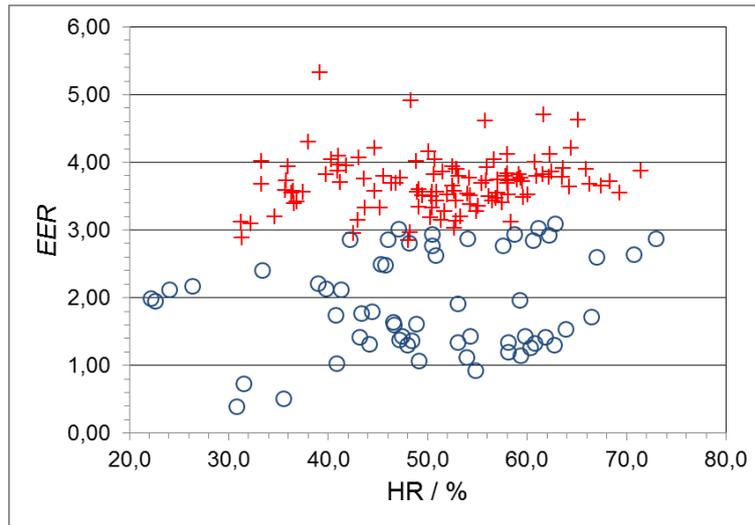


Figura 6.8.- EERWCC.30 (+) y EERACC.30 (o) en función de la humedad relativa exterior.

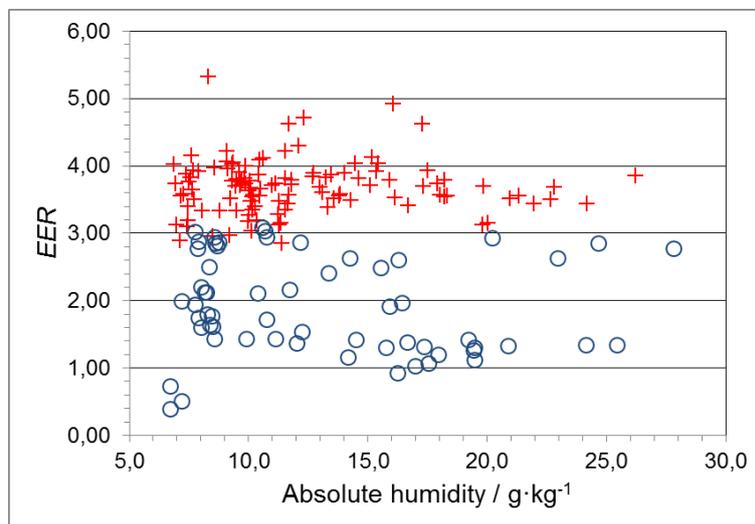


Figura 6.9.- EERWCC.30 (+) y EERACC.30 (o) en función de la humedad absoluta exterior.

En la Figura 6.10 se muestran EERWCC.30 y EERACC.30 en función de la energía producida en las máquinas cada 30 minutos tanto en la enfriadora condensada por agua, como en la condensada por aire.

Es por ello, que podría considerarse como un gráfico que nos aportaría información sobre la influencia de la carga de trabajo de la máquina (a carga parcial o total) en el coeficiente de eficiencia energética.

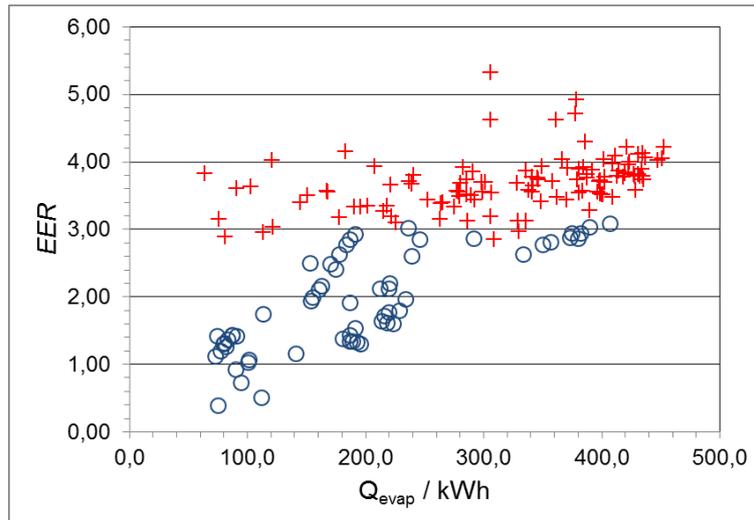


Figura 6.10.- EERWCC.30 (+). y EERACC.30 (o) en función de la energía de frío producida en 30 minutos por la enfriadora condensada por agua y por aire.

Como resultado de todas las figuras anteriores, el coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por agua EERWCC.30 es mayor que el coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por aire EERACC.30.

También se puede extraer como conclusión de las Figuras anteriores, que el EERACC.30 tiene una mayor dispersión de datos, lo cual indica una fuerte dependencia de la eficiencia en las enfriadoras condensadas por aire en las condiciones ambientales.

En cambio EERWCC.30 tiene una dispersión de datos mucho más pequeña, lo cual indica que es mucho más estable, y con unos índices de eficiencia energética mucho mayores de las máquinas enfriadoras condensadas por agua, aún con condiciones operacionales más variables.

Se puede obtener como conclusión que un cambio en la temperatura exterior, en la humedad relativa, o en la humedad absoluta no tiene efectos significativos en el EERWCC.30 comportándose de una manera muy estable.

También se puede ver que los valores de EERWCC.30 se concentran en una banda muy estrecha alrededor del valor calculado como “Coeficiente de eficiencia energética estacional” de la enfriadora condensada por agua, que es de 3.70.

Por el contrario, los valores obtenidos de EERACC.30 tienen una dispersión mucho mayor, obteniéndose valores entre 0.4 y 3.0.

En la Figura 6.10 se puede ver que dicho coeficiente de eficiencia energética de la máquina condensada por agua EERWCC.30 es claramente independiente del hecho de que la máquina funcione a carga parcial o total.

Este tipo de comportamiento es típico de máquinas con flujo de refrigerante variable (sistemas VRF), tal y como es el caso de la máquina analizada en este estudio.

Por el contrario, el coeficiente de eficiencia energética EERACC.30 correspondiente a la máquina condensada por aire, disminuye de manera significativa cuando la enfriadora condensada por aire trabaja a cargas parciales. Esto es así, hasta llegar al punto que EERACC.30 llega a ser aproximadamente 3.0 cuando la máquina condensada por aire trabaja a carga completa, pero disminuye hasta tomar valores entre 0.5 y 1.5 cuando opera al 25% del punto de carga de diseño y toma valores entre 1.5 y 3.0 cuando opera al 50% de dicho punto de diseño de carga completa.

Este comportamiento es típico de máquinas del tipo arranque-parada como las máquinas estudiadas.

En la Tabla 6.4, dónde se recogen los valores de los coeficientes de eficiencia energética estacionales, se puede ver que para la enfriadora condensada por aire el EERACC season es 1.87 y para la enfriadora condensada por agua el EERWCC season es 3.70, lo cual supone que es un 98% mayor que para la máquina condensada por aire.

En otras palabras, la enfriadora condensada por agua satisface la misma demanda energética de agua fría de climatización consumiendo un 49% menos de energía eléctrica que la máquina condensada por aire.

6.4.2 Análisis económico.

Para realizar el análisis económico de la instalación, se ha estimado la viabilidad de sustituir una de las enfriadoras condensadas por aire existentes por una nueva enfriadora condensada por agua con un enfriador adiabático, como el caso del estudio real, en nuestro caso particular una de las enfriadoras se considera como máquina de repuesto en caso de que se produzca un fallo que obligue a parar la máquina condensada por agua.

Tabla 6.5.- Parámetros tipo económico utilizados para el estudio de la rentabilidad de ambas instalaciones: Condensada por agua (WCC) y condensada por aire (ACC).

Concepto	ACC	WCC
Área refrigerada(m ²)	22415	
Carga de enfriamiento (W/m ²)	40	
Demanda de enfriamiento total (MWh/año)	1406	
EER _{season}	1.87	3.70
Coste inicial total (k€)	--	325.6
O&M (Mantenimiento) (k€/año)	--	1.5
Consumo Energ. Eléctrica (MWh/año)	752	380
Coste de la energía (electricity. k€/año)	127.8	64.6
Ahorros anuales electricidad (k€)	--	63.2
Vida equipos (año)	--	30

El área a enfriar del edificio es de 22 415 m² y se ha estimado una carga de enfriamiento de 40W/m².

Para realizar el estudio de rentabilidad de la nueva instalación, se ha utilizado como caso base de partida la enfriadora condensada por aire, que se pretende sustituir, la cual tiene como valor de Coeficiente de eficiencia energética EERACC.30 de 1.87, tal y como se ha calculado en los apartados anteriores.

El caso alternativo es la enfriadora condensada por agua con un enfriador adiabático. El valor de su EERWCC season es 3.70 tal y como se vio en los apartados anteriores de análisis energéticos.

El coste inicial de la enfriadora condensada por agua es de 325 600 €, desglosados según se indica en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6.- Desglose de costes en la instalación de la instalación de la enfriadora condensada por agua.

Concepto	Coste (€)
Coste Enfriadora	88 436
Coste Enfriador adiabático	148 426
Coste tuberías y valvulería	49 000
Coste instalación eléctrica	7 200
Coste Sistema gestión	9 500
Coste Proyecto	6 000
Coste Obra civil	15 000
Coste pequeño material	2 038
TOTAL:	325 600

Este valor incluye el coste de la propia máquina, el enfriador adiabático, toda la valvulería y equipamiento auxiliar necesario para un funcionamiento correcto de la instalación. Además, de los trabajos de acondicionamiento en el edificio para poder instalar las máquinas y los impuestos.

Los costes de mantenimiento y operación de la instalación (O&M) se estima que son de 1500 €/año.

Los parámetros técnicos obtenidos en el análisis energético anterior (EERACC season y EERWCC season) para la máquina condensada por aire y por agua respectivamente, junto con los parámetros económicos, resumidos en la Tabla 6.7 y Tabla 6.8 son los que se utilizan como parámetros de entrada para el programa RETScreen Celan Energy Project Analysis Software [48].

Este software tiene un banco de datos de condiciones climáticas para diferentes localizaciones y es capaz de calcular la demanda energética de enfriamiento para el conjunto de la estación en la localización definida.

En el caso concreto de estudio, la demanda total de energía para enfriar el edificio asciende a la cantidad de 1406 MWh/ año, distribuidas de mayo a octubre, teniendo el pico de demanda de enfriamiento en julio.

Tabla 6.7.- Parámetros macro económicos utilizados en el análisis económico.

Item	Valor
Coste de la energía (€/kWh)	0.17
Inflación energética (%)	3.0
Tasa de inflación general (%)	2.0
Tipo de interés (%)	0.0

Tabla 6.8.- Parámetros económicos de explotación obtenidos para la sustitución de la enfriadora condensada por aire por una nueva máquina condensada por agua.

Item	Valor
Coste de la energía (€/kWh)	0.17
Inflación energética (%)	3.0
Tasa de inflación general (%)	2.0
Tipo de interés (%)	0.0

El cálculo del consumo eléctrico anual de la enfriadora condensada por aire es de 752 MWh. Por otra parte, el consumo anual de energía eléctrica de la máquina condensada por agua es de solamente 380 MWh.

Suponiendo que el coste de la energía eléctrica para el primer año es de 0.17 €/kWh [2], con una tasa de subida del 3%, y suponiendo una tasa de inflación del 2%, el coste de la energía eléctrica consumida por año por la enfriadora condensada por aire alcanza un valor de 127 781€. Mientras que el coste de la energía eléctrica consumida por año por la enfriadora condensada por agua es de únicamente 64 581€. Estos resultados implican un ahorro anual de 63 200€.

De modo, que la rentabilidad de la inversión en relación con el cambio de una máquina condensada por aire a una nueva condensada por agua con un enfriador adiabático en términos del valor actual neto (NPV), el período de retorno simple de la inversión (SPP), y la tasa interna de retorno de la inversión (IRR), se obtienen utilizando el software RETScreen y se pueden ver en la Tabla 6.9.

El Valor actual neto de la inversión requerida (NPV) es de 2 709 305. y se obtiene un Período de Retorno Simple (SPP) de 5.3 años. siendo la Tasa Interna de Retorno (IRR) del 22.4%.

Tabla 6.9.- Parámetros económicos de explotación obtenidos al sustituir la máquina ACC por otra nueva del tipo WCC

Item	WCC
Valor actual neto (NPV)	2709.3 k€
Período de retorno simple (SPP)	5.3 años
Tasa interna de retorno (IRR)	22.4 %

6.4.3 Análisis medioambiental.

La reducción del consumo de energía eléctrica, tiene como consecuencia directa, una reducción directamente proporcional en la emisión de gases de efecto invernadero asociados al tipo de sistema de producción de agua fría de refrigeración del edificio.

Las emisiones debidas al consumo eléctrico se calculan aplicando el llamado “factor de emisión” que sirve para cuantificar la cantidad de gases de efecto invernadero producidos a partir de la cantidad de energía eléctrica consumida.

Dicho factor de emisión es característico de la red eléctrica de cada país, dependiendo de las fuentes de energía que dicha red utilice para abastecerse, así como la eficiencia de generación en cada país.

Para hacer la proyección de consumos anual para el sistema de refrigeración se va a considerar que un día típico se pueden necesitar 1 600 kWh térmicos.

Y si tenemos en cuenta la Tabla 6.4 y hacemos una proyección de consumos durante los meses de funcionamiento de la instalación de refrigeración.

Tabla 6.10.- Previsión de días de funcionamiento de la instalación de refrigeración.

	junio	julio	ago	sep	oct	TOTAL
Días de funcionamiento	11	18	20	15	9	73

Con los datos anteriores se obtiene la Tabla 6.11:

Tabla 6.11.- Energía consumida por la instalación de refrigeración anualmente.

	WCC	ACC
rendimiento	3.7	1.87
Welec (kWh)	432.43	855.61
Nº días	73	73
Energía Cons (kWh)	31.567.57	62.459.89

Teniendo en cuenta que el precio medio del kWh eléctrico puede situarse en torno a 11cent€/ kWh en la franja horaria en que suelen funcionar las máquinas, se puede obtener que el uso de la máquina WCC frente a la ACC puede ahorrar un total de 3 400 €/ año, sin contar impuestos indirectos, ni el ahorro que se podría conseguir bajando la potencia contratada.

Con esos datos de energía consumida anualmente para cada tipo de instalación y sabiendo el mix energético del país, se pueden obtener las toneladas de CO₂ que genera cada una de la dos instalaciones (Condensación por agua, y Condensación por aire).

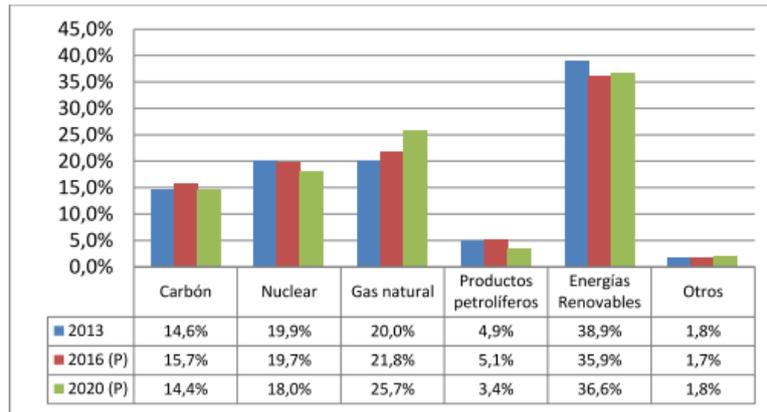


Figura 6.11.- Perfiles de generación eléctrica en España en años diferentes. Fuente [11]

De donde se puede obtener la tabla siguiente:

Tabla 6.12.- Toneladas de CO₂ producidas anualmente para cada sistema WCC y ACC

Tipo Generación	%	GW h (WCC)	GW h (ACC)	Tons CO ₂ / Mwh term (WCC)	Tons CO ₂ / Mwh term (ACC)
Ciclo Combinado:	21.8	6.88	13.62	6.10	12.08
Fuel / Gas:	5.1	1.61	3.19	3.30	6.53
Carbón:	15.7	4.96	9.81	10.75	21.27
Renovables:	35.9	11.33	22.42	20.15	39.87
Nuclear:	19.7	6.22	12.30		
Otros	1.8	0.57	1.12		
	100	31.57	62.46		

Teniendo en cuenta que el factor de absorción de CO₂ para el Pinus pinaster en la zona norte interior es de 0.23 t CO₂ /árbol a los 20 años, según [46]. se puede obtener que serían necesarios 88 árboles para fijar el CO₂ del sistema WCC y 174 para fijar el CO₂ del sistema ACC.

6.5 CONCLUSIONES

Al objeto de tener una estimación precisa del impacto de la sustitución de los sistemas de climatización en un elevado número de edificios públicos a nivel regional, es muy importante tener datos precisos de las características de dichos sistemas, pero datos reales, y no los suministrados en las hojas de características de los fabricantes.

Es más, lo ideal sería disponer de los datos reales de dichas máquinas de climatización en condiciones reales de trabajo, e incluso en función del tipo de uso del edificio al que están destinadas.

Con este objetivo, se ha analizado el sistema de climatización de un edificio singular, en concreto un edificio administrativo del gobierno regional en Castilla y León. Dicho análisis se ha realizado de manera profunda y en condiciones de trabajo reales.

En concreto, el aspecto más importante del sistema estudiado es la duplicidad de las máquinas de producción de frío en uno de los circuitos de producción, ya que se instaló una nueva máquina condensada por agua (WCC) con un enfriador adiabático en paralelo con una máquina enfriadora condensada por aire (ACC) de tipo convencional, la cual estaba instalada desde la construcción del edificio.

De este modo, la comparativa entre ambos sistemas se puede hacer bajo condiciones reales de trabajo y los resultados se pueden extrapolar a otros edificios del sector terciario como otros edificios administrativos, hospitales, hoteles, etc.

Los resultados obtenidos de los datos recogidos del sistema de climatización del edificio durante los veranos de 2013 y 2014 muestran que la enfriadora condensada por agua tiene una eficiencia mucho más alta que la enfriadora condensada por aire.

El coeficiente de eficiencia estacional de la enfriadora condensada por agua con el enfriador adiabático se estima que es de 3.70, mientras que el obtenido para la enfriadora condensada por aire se estima que tiene un valor de 1.87.

Ambos valores están muy lejos de los valores de los coeficientes de eficiencia energética que los fabricantes anuncian en sus catálogos, de modo que dichos coeficientes únicamente se alcanzan en unas condiciones muy concretas, y casi se podría decir que en condiciones de laboratorio.

De hecho, cuando se consideran largos períodos de tiempo, en los cuales se aprecian fluctuaciones de las condiciones ambientales, o principalmente, de las condiciones de demanda de frío por parte del edificio, el valor del coeficiente de eficiencia energética puede llegar a decrecer de manera significativa, especialmente en las máquinas condensadas por aire.

El coeficiente de eficiencia energética de la enfriadora condensada por agua permanece mucho más alto cuando se trabaja a cargas parciales (se trata de una máquina con flujo variable de refrigerante VRF), mientras que a cargas parciales el valor de dicho coeficiente en las máquinas condensadas por aire se desploma, hecho también esperable al tratarse de máquinas “todo-nada”, que solo pueden ponerse en marcha y apagarse, y que no permiten un control del flujo de refrigerante.

Por otra parte, la inversión económica necesaria para sustituir la máquina condensada por aire por otra máquina condensada por agua con un enfriador adiabático es muy importante.

Sin embargo, únicamente se requiere un período de 5.3 años para recuperar la inversión, y la tasa interna de retorno de la inversión llega al valor del 22.4%, tal y como indican los datos económicos obtenidos en el análisis.

Como consecuencia directa del incremento del coeficiente de eficiencia energética en la máquina condensada por agua, el consumo de energía eléctrica se ve reducido significativamente, y por añadidura, los gases de efecto invernadero producidos por el uso de la máquina.

En concreto, y para el edificio objeto del estudio, la emisión de los gases de efecto invernadero se reducen en 148.5 toneladas métricas por año, valor que está íntimamente ligado al coeficiente que relaciona dichas emisiones con el tipo de mix energético de cada país, y por lo tanto, depende a su vez del tipo de tecnologías y eficiencias de generación eléctrica de cada país o red eléctrica.

Lo más importante, es que los resultados obtenidos en este estudio se pueden extrapolar a otros edificios del sector terciario no residenciales, ya que el 40% de la energía final consumida en la Unión Europea se realiza en ese tipo de edificios.

Además hay que tener en cuenta que en la Unión Europea el 30% de los edificios no residenciales son edificios públicos.

De modo que, la promoción de políticas públicas al objeto de incrementar la eficiencia energética de los sistemas de calefacción, ventilación, y sistemas de aire acondicionado en edificios públicos tendría un impacto muy significativo a la hora de reducir el consumo energético global, la dependencia energética, y la emisión de gases de efecto invernadero.

Una primera medida podría ser, el cambio de las enfriadoras convencionales condensadas por aire, por enfriadoras modernas de flujo de refrigerante variable y con condensación mediante un enfriador adiabático en los edificios públicos.

Esta sería una medida atractiva desde el punto de vista económico, y que tendría un impacto muy significativo en caso de llevarse a cabo en un gran número de edificios públicos, llegando a tener un impacto a escala regional en la dependencia energética, el consumo de energía o la emisión de gases de efecto invernadero.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

7.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se resumen las conclusiones a que han llevado los estudios presentados en capítulos anteriores. La practicidad de los resultados obtenidos permitirá un ahorro energético, y por lo tanto económico, sobre todo en grandes edificios del sector terciario, y será tanto mayor cuanto mayor sea la demanda energética del edificio al cual se apliquen las conclusiones obtenidas.

Se ha realizado el análisis experimental de la instalación de climatización del edificio sede de las Cortes de Castilla y León, con un área climatizada de 22 415 m². Para ello se desarrolló un procedimiento mediante software que permitió la adquisición de datos del sistema de gestión del edificio, adaptados al estudio que se planteaba. Se definieron 43 variables, como críticas, de las cuales se extrae información de su estado o valor cada cinco minutos, las 24 horas del día, los 365 días del año.

Se ha analizado el funcionamiento del sistema de calefacción del edificio, integrado por dos calderas de 1046 kW, utilizando los datos recogidos durante 98 días de funcionamiento en el año 2016. Todos estos datos se presentan tabulados y se han calculado los consumos energéticos y los rendimientos diarios de la instalación.

Se ha evaluado la influencia de los parámetros de funcionamiento del sistema de calefacción, temperatura de consigna del agua y modo de funcionamiento de las calderas, en el rendimiento de la misma. Para ello se establecieron tres valores de la temperatura de consigna 70°C, 75°C y 80°C y dos formas de funcionamiento de las calderas, un modo de funcionamiento en maestro esclavo (OM 0) y un modo de funcionamiento en paralelo (OM 1).

Se ha evaluado la influencia de parámetros externos, como las condiciones exteriores (temperatura y humedad relativa) y la demanda energética, en el rendimiento del sistema de calefacción la instalación.

Como resultado de dicho análisis se concluye que el mayor rendimiento se obtiene cuando la temperatura de consigna es de 80°C y las calderas funcionan en modo maestro-esclavo. Sin embargo, no se ha podido establecer una relación clara de las condiciones exteriores en el rendimiento de la instalación.

Se ha analizado el funcionamiento del sistema de refrigeración del edificio, utilizando los datos recogidos durante 44 días de funcionamiento en los años 2013 y 2014. Todos estos datos se presentan tabulados y se han calculado los consumos energéticos y los coeficientes de eficiencia energética de la instalación.

Se ha realizado un estudio comparativo del funcionamiento de las enfriadoras condensadas por aire instaladas originalmente en el edificio (dos unidades de 834 kW de potencia refrigeradora cada una de ellas) y la enfriadora condensada por agua incorporada con posterioridad (865 kW).

Se han evaluado los coeficientes de eficiencia energética del sistema de refrigeración en intervalos de 30 minutos para una mejor comparativa de las ambas enfriadoras,

concluyéndose que la eficiencia de la enfriadora condensada por agua es muy superior al de la enfriadora condensada por aire. Además dicho rendimiento no depende de las condiciones externas de temperatura y se mantiene aún a cargas parciales. Por el contrario en la enfriadora condensada por aire se observa un notable empeoramiento del rendimiento a cargas parciales.

Finalmente, se han estimado el ahorro económico y las emisiones de CO₂ que se evitan mediante la utilización de los sistemas de climatización, calefacción o refrigeración, en condiciones óptimas. La metodología y los resultados obtenidos puedan aplicarse a otros edificios, principalmente en el sector terciario, con el fin de contribuir a una mayor eficiencia energética.

7.2 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN.

- La temperatura de consigna (SPT) tiene una gran importancia en el rendimiento de la instalación, obteniéndose valores de rendimiento para las tres temperaturas para las que se ha hecho el estudio 80°C, 75°C y 70°C, de 0.71, 0.67 y 0.66 respectivamente.
- El modo de funcionamiento de las calderas, OM 1 (modo de funcionamiento en paralelo), y OM 0 (modo de funcionamiento en maestro-esclavo) tiene gran influencia sobre los rendimientos, obteniéndose los valores de 0.66 y 0.70 respectivamente.
- Si se estudia la influencia de la temperatura de consigna (SPT) y del modo de funcionamiento (OM) simultáneamente se obtiene que el mayor rendimiento se consigue con SPT 80°C-OM 0 (0.73), y el menor con SPT 70°C-OM 1 (0.63), diez puntos porcentuales de diferencia.
- No se puede llegar a establecer una relación clara entre los factores externos, temperatura, y humedad relativa y el rendimiento de la instalación.
- Sí que existe una relación más clara entre el rendimiento de la instalación y la demanda energética, siendo este mayor, cuanto mayor es la demanda energética.
- Existe una relación clara, y previsible entre la demanda energética de la instalación y la temperatura exterior, siendo menor la demanda a medida que aumenta la temperatura exterior.

7.3 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN.

- Queda demostrado que el rendimiento de la instalación de refrigeración con una máquina condensada por agua (WCC), 3.70, es superior al rendimiento cuando trabaja una máquina condensada por aire (ACC) 1.87.

Lo cual supone un incremento en rendimiento de casi el 100% con el indudable ahorro de energía eléctrica, y producción de CO₂.

- El rendimiento de la instalación con máquinas WCC es mucho más estable y menos influenciado por factores externos que con máquinas ACC. La influencia de la temperatura o la humedad relativa exteriores sobre el rendimiento en las máquinas WCC no es apreciable, pero sí que lo es en las máquinas ACC, donde el incremento de la temperatura exterior implica una bajada importante en el rendimiento de la instalación.
- En ambos tipos de máquinas influye la demanda energética, aunque es muy poco apreciable en las máquinas WCC, pero en las máquinas ACC la influencia es clara.
- El rendimiento en las máquinas WCC no decae prácticamente al funcionar a cargas parciales, mientras que en las máquinas ACC la disminución del rendimiento a cargas parciales es muy notable.

7.4 CONCLUSIONES DEL FUNCIONAMIENTO GLOBAL A LO LARGO DE TODO UN AÑO.

A continuación, como colofón al estudio presentado, y teniendo en cuenta que el fin último del análisis anteriormente presentado es llegar a conclusiones prácticas que permitan un ahorro energético, económico y a la postre medioambiental se plantean los ahorros que se podrían conseguir llevando a cabo las medidas estudiadas.

- La demanda energética del sistema de calefacción anual asciende a 307.04 MW.
- Con el sistema funcionando con SPT80 y OM0 se consumirían 36 448 m³ de gas natural frente a los 42 233 m³ con SPT70 y OM1.
- Esta configuración permitiría ahorrar al menos y sin considerar impuestos 2 670 € / anuales.
- Con el sistema funcionando con SPT80 y OM0 se necesitarían 414 árboles para absorber las 95 toneladas de CO₂ que se producirían, mientras que con SPT70 y OM1 se producirían 99 toneladas de CO₂ y serían necesarios 432 árboles para absorber el CO₂ producido.
- La demanda energética del sistema de refrigeración anual asciende a 1600 kWh.
- Se estima un total de 73 jornadas en las cuales será necesario conectar el sistema.
- El uso de un sistema de refrigeración durante un año WCC produce un total de 20.15 toneladas de CO₂ y el uso de un sistema ACC produce un total de 39.87 toneladas de CO₂.
- Se precisarían un total de 88 árboles para absorber el CO₂ producido por el sistema WCC y 174 árboles para absorber el CO₂ producido por el sistema ACC.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] IEA, “World Energy Investment 2016 Fact Sheet,” *Iea*, p. 2, 2016.
- [2] MINETUR, “La Energía en España 2014,” *Minist. Ind. Energía y Tur. Secr. Gen. técnica, Subdirección Gen. Desarro. Norm. Inf. y publicaciones*, p. 317, 2014.
- [3] IDAE, “2º Plan de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2011-2020. ANEXO,” *IDAE, Inst. para la Divers. y Ahorr. la Energía. Minist. Ind. Energía y Tur. Gob. España.*, 2011.
- [4] IDAE, “Informe anual de consumos energéticos,” pp. 1–6, 2013.
- [5] *DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios*. Unión Europea, 2010, pp. 13–35.
- [6] O. B. Kazanci, M. Skrupskelis, P. Sevela, G. K. Pavlov, and B. W. Olesen, “Sustainable heating, cooling and ventilation of a plus-energy house via photovoltaic/thermal panels,” *Energy Build.*, vol. 83, pp. 122–129, 2014.
- [7] ECOFYS *et al.*, “Overview of Member States information on NZEBs,” *ECOFYS Proj.*, p. 41, 2014.
- [8] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, 2008.
- [9] Institute for Energy Diversification and Saving - IDAE, “Project Sech-Spahousec, Analysis of the Energetic Consumption of the Residential Sector in Spain (Proyecto Sech-Spahousec, Análisis del consumo energético del sector residencial en España),” *Idae*, p. 76, 2016.
- [10] M. de Vivienda, *REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. España, 2007.
- [11] P. Energética, “Planificación Energética. Plan de Desarrollo de la Red de Transporte de Energía Eléctrica 2015-2020,” 2015.
- [12] *DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012*. UE, 2012, pp. 1–56.
- [13] *Ley 15/2014, de 16 de septiembre, de racionalización del Sector Público y otras medidas de reforma administrativa*. España, 2014, pp. 60502–60511.
- [14] J. F. Belmonte, M. A. Izquierdo-Barrientos, A. E. Molina, and J. A. Almendros-Ibañez, “Air-based solar systems for building heating with PCM fluidized bed energy storage,” *Energy Build.*, vol. 130, pp. 150–165, 2016.
- [15] M. F. Evren, A. Özsunar, and B. Kilkış, “Experimental investigation of energy-optimum radiant-convective heat transfer split for hybrid heating systems,” *Energy Build.*, vol. 127, pp. 66–74, 2016.
- [16] D. Wang, C. Wu, Y. Liu, P. Chen, and J. Liu, “Experimental study on the thermal performance of an enhanced-convection overhead radiant floor heating system,” *Energy Build.*, vol. 135, pp. 233–243, 2017.
- [17] K. Allaerts, J. Al Koussa, J. Desmedt, and R. Salenbien, “Improving the energy efficiency of ground-source heat pump systems in heating dominated school buildings: a case study in Belgium,” *Energy Build.*, vol. 138, pp. 559–568, 2016.
- [18] F. W. H. Yik, J. Burnett, and I. Prescott, “Predicting air-conditioning energy consumption of a group of buildings using different heat rejection methods,” *Energy Build.*, vol. 33, no. 2, pp. 151–166, 2001.

- [19] J. Yang, K. T. Chan, X. Wu, F. W. Yu, and X. Yang, “An analysis on the energy efficiency of air-cooled chillers with water mist system,” *Energy Build.*, vol. 55, pp. 273–284, 2012.
- [20] M. J. Sebzali and P. A. Rubini, “The impact of using chilled water storage systems on the performance of air cooled chillers in Kuwait,” *Energy Build.*, vol. 39, no. 8, pp. 975–984, 2007.
- [21] J. F. Belmonte, M. A. Izquierdo-Barrientos, P. Eguía, A. E. Molina, and J. A. Almendros-Ibáñez, “PCM in the heat rejection loops of absorption chillers. A feasibility study for the residential sector in Spain,” *Energy Build.*, vol. 80, pp. 331–351, 2014.
- [22] Y. Jiang and X. Xie, “Theoretical and testing performance of an innovative indirect evaporative chiller,” *Sol. Energy*, vol. 84, no. 12, pp. 2041–2055, 2010.
- [23] X. Hao, C. Zhu, Y. Lin, H. Wang, G. Zhang, and Y. Chen, “Optimizing the pad thickness of evaporative air-cooled chiller for maximum energy saving,” *Energy Build.*, vol. 61, pp. 146–152, 2013.
- [24] T. Wang, C. Sheng, and A. G. A. Nnanna, “Experimental investigation of air conditioning system using evaporative cooling condenser,” *Energy Build.*, vol. 81, pp. 435–443, 2014.
- [25] M. Lucas, P. J. Martínez, and A. Viedma, “Comparative experimental drift study between a dry and adiabatic fluid cooler and a cooling tower,” *Int. J. Refrig.*, vol. 31, no. 7, pp. 1169–1175, 2008.
- [26] J. C. Herrera, C. R. Chamorro, and M. C. Martín, “Experimental analysis of performance, greenhouse gas emissions and economic parameters for two cooling systems in a public administration building,” *Energy Build.*, vol. 108, pp. 145–155, 2015.
- [27] F. W. Yu and K. T. Chan, “Economic benefits of optimal control for water-cooled chiller systems serving hotels in a subtropical climate,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 2, pp. 203–209, 2010.
- [28] G. Ding and L. Fu, “Performance analysis and improvement of air-to-water chiller for application in wide ambient temperature range,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 135–145, 2005.
- [29] Y. Liu, D. Verissimo, and F. Farhidi, “Using social norm to promote energy conservation in a public building,” *Energy Build.*, vol. 133, pp. 32–36, 2016.
- [30] T. Hong, S. C. Taylor-Lange, S. D’Oca, D. Yan, and S. P. Corgnati, “Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings,” *Energy Build.*, vol. 116, pp. 694–702, 2016.
- [31] A. Khandelwal, P. Talukdar, and S. Jain, “Energy savings in a building using regenerative evaporative cooling,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 2–3, pp. 581–591, 2011.
- [32] U. Eicker and D. Pietruschka, “Design and performance of solar powered absorption cooling systems in office buildings,” *Energy Build.*, vol. 41, no. 1, pp. 81–91, 2009.
- [33] S. P. L. John Wiley & Sons, Ed., *Adsorption Refrigeration Technology: Theory and Application*, 2014th ed. Singapore: John Wiley & Sons, Singapore Pte. Ltd., 2014.
- [34] F. Souayfane, F. Fardoun, and P. H. Biwole, “Phase change materials (PCM) for cooling applications in buildings: A review,” *Energy Build.*, vol. 129, pp. 396–431, 2016.
- [35] Z. U. D. A. Waqas, “Phase change material (PCM) storage for free cooling of buildings—a review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.* 18, vol. February, pp. 607–

- 625, 2013.
- [36] A. Konstantinidou, Christina V.; Lang, Werner; Novoselac, “Integration of thermal energy storage in buildings,” Master Thesis, University of Austin, Texas, 2010.
- [37] *Real Decreto-ley 8/2014, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia.* España, 2014, pp. 60502–60511.
- [38] N. Garrido-Soriano, M. Rosas-Casals, A. Ivancic, and M. D. Álvarez-Del Castillo, “Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study,” *Energy Build.*, vol. 49, pp. 119–125, 2012.
- [39] Agencia Estatal de Meteorología, “Guía resumida del clima en España (1981–2010)” [Online]. Available: <http://www.aemet.es/es/conocerlas/>.
- [40] M. C. Peel, B. L. Finlayson, T. A. McMahon. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 11 (5), pp.1633-1644, 2007,.
- [41] “Cortes de Castilla y León, ‘Principales características de la sede de las Cortes de Castilla y León.’” [Online]. Available: <http://www.ccyll.es/export/sites/ccyl/conoce/sede/caracteristicas.html>.
- [42] I. Aemet, *Atlas climático ibérico/Iberian climate atlas.* 2011.
- [43] Universidad de Valladolid, “Tecnología de la combustión,” pp. 1–10, 2007.
- [44] “Weisshaupt.” [Online]. Available: http://www.sedical.com/Descargas/quemadores_weisshaupt/1a11hasta4750/PRD_1_es-ES_92.pdf.
- [45] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, “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”. 2016.
- [46] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente. “Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono,” 2015.
- [47] *RD 865/2003, Criterios higiénico sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. Ministerio de Sanidad y Consumo.* España, 2004, pp. 901–905.
- [48] N. Discr, “N. R. C. G. of Canada, ‘RETScreen international.’ Available: <http://www.retscreen.net/>” .

PUBLICACIONES

ARTICULOS EN REVISTAS INTERNACIONALES INCLUIDAS EN EL SCIENCE CITATION INDEX (SCI):

1.- J. C. Herrera. C. R. Chamorro. and M. C. Martín. “Experimental analysis of performance, greenhouse gas emissions and economic parameters for two cooling systems in a public administration building.” *Energy Build.*, vol. 108. pp. 145–155. 2015.

Energy and Buildings (ISSN: 0378-7788). Índice de Impacto (2014): 2.973. Posición 6/57 (Q1) en la categoría ‘Engineering, Civil’.

CITAS

Jiang, R. , Li, R. “Decomposition and decoupling analysis of life-cycle carbon emission in China's building sector” *Sustainability* (Switzerland) Volume 9, Issue 5, 2017, Article number 793
Open Access

Zhang, X., Wang, F. “Hybrid input-output analysis for life-cycle energy consumption and carbon emissions of China's building sector” *Building and Environment* Volume 104, 1 August 2016, Pages 188-197



Experimental analysis of performance, greenhouse gas emissions and economic parameters for two cooling systems in a public administration building



Juan C. Herrera^a, César R. Chamorro^b, M. Carmen Martín^{b,*}

^a Servicio Gestión Administrativa, Cortes de Castilla y León, Plaza de las Cortes, 1, 47015 Valladolid, Spain

^b TERMOCAL, Dpto. Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Universidad de Valladolid, Paseo del Cauce, 59, 47011 Valladolid, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 March 2015

Received in revised form 3 September 2015

Accepted 5 September 2015

Available online 8 September 2015

Keywords:

Non-residential buildings HVAC

Water-condensed chiller

Dry-adiabatic cooler

Air-condensed chiller

Energy efficiency

ABSTRACT

More than a quarter of the non-residential buildings in Europe are public buildings and their energy consumption is forty percent higher than that of residential buildings. Therefore, promoting a public policy to increase energy efficiency of the HVAC systems in public buildings will have a significant impact in reducing global energy consumption.

In order to have a precise estimation of the impact of the substitution of the HVAC systems in a large number of public buildings, it is essential to have accurate data of the performance of these systems in specific buildings, beyond the technical specifications stated by the manufacturers. In this paper the substitution of the wide-spread, conventional air-condensed chiller (ACC) for a water-condensed chiller (WCC) with a dry-adiabatic cooler in a public administration building is analyzed in terms of energy efficiency, economic return of the required investment and environmental implications. The influence of external factors as well as the load effect are quantified. The results show that the seasonal Energy Efficiency Ratio of the WCC is near twice that of the ACC, making the replacement of the ACC for the WCC an interesting option. The results obtained in this study could be extrapolated to other non-residential public buildings.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Buildings are central to the European Union energy efficiency policy, as nearly 40% of final energy consumption and 36% of greenhouse gas emissions are associated with houses, offices, shops and other buildings [1,2]. Especially important is the intensification of energy consumption in heating, ventilation, and air conditioning systems (HVAC), the largest energy end-use both in the residential and non-residential sectors [3]. In recent years, a significant increase in the use of air conditioning for cooling purposes, especially in southern European countries, is moving the energy peak demand from winter to summer. Thus, the improvement of the energy efficiency of the cooling systems in buildings is crucial to achieve the EU's 2020 climate-change and energy targets: reduction of greenhouse gas emissions by 20% with respect to those of 1990, 20% of energy from renewables, and a 20% increase in energy efficiency [4].

Even more, improving the energy performance of the HVAC systems of public buildings is crucial, not only to achieve the 2020 targets but also to meet the longer term objectives of the climate strategy as laid down in the low carbon economy roadmap 2050, when Europe aims at drastic greenhouse gas emission reductions in the building sector of 88–91% compared to 1990.

The most commonly used systems to produce chilled water for cooling purposes in buildings, both in the residential and non-residential sectors, are the vapor-compression refrigeration systems. The condenser performance is one of the most important factors to improve the efficiency of these refrigeration systems [5]. Regarding the medium used to reject the heat in the condenser of the vapor-compression refrigeration cycle we can consider two main cooling systems: air-condensed chillers and water-condensed chillers. It is well known that water-condensed chillers are significantly more efficient than air-condensed chillers [6]. Most of the air conditioning systems in the HVAC installations of big tertiary buildings in Spain in the 80s and 90s used water-condensed chillers with open cooling towers. However, in recent years, the air-condensed chillers have increased their presence in the HVAC market, mainly due to the problems associated with legionella in the cooling towers of water-condensed chillers.

* Corresponding author.

E-mail addresses: juancarlos.herrera@ccyl.es (J.C. Herrera), cescha@eii.uva.es (C.R. Chamorro), mcarmen.martin@eii.uva.es (M.C. Martín).

**ANEXO I: RUTINAS VISUAL BASIC
SISTEMA ADQUISICIÓN Y
TRATAMIENTO DE DATOS.**

10.1 Rutinas de VisualBasic para cambiar el nombre a los archivos csv

Estas son las dos rutinas que se utilizan con las que en primer lugar se cambia el nombre de cada archivo eliminando la parte de los milisegundos y posteriormente se guarda en el directorio especificado.

Rutina 1.- Rutina para cambiar el nombre al archivo

```
Sub CambiarNombre()  
Dim NombreNuevo As String  
Dim NombreAnterior As String  
On Error Resume Next  
For Each Celda In Selection  
    NombreAnterior = Celda.Value  
    NombreNuevo = Celda.Offset(0, 3).Value  
    Name NombreAnterior As NombreNuevo  
Next Celda  
On Error GoTo 0  
End Sub
```

Rutina 2.- Rutina que muestra todos los nombres de los archivos

```
Sub Mostrar_Archivos()  
  
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")  
Set carpeta = fs.GetFolder("D:\users\juancarlos.herrera\Documents\ZA-  
MANTENIMIENTO\zo-ENERGIA\za-Estudios\2015-3-4-Macros de Excel\Datos2\  
  
For Each archivo In carpeta.Files  
    ActiveCell.Value = ruta & archivo.Name  
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select  
Next  
  
End Sub
```

10.2 Recopilación de datos de los archivos csv

En este punto se dispone de todos los archivos con los datos de las variables recopilados cada 5 minutos.

Ahora lo que se hace es extraer los datos de cada uno de esos archivos. pegarlos en un archivo común único. cerrar el archivo correspondiente. y repetir de nuevo el proceso hasta que estén todos los datos necesarios grabados en el archivo común.

Rutina 3.- Rutina de VisualBasic para extracción y recopilación de datos de los archivos csv.

```
Sub Pasodedatos()
```

'RUTINA DE EXTRACCIÓN EN MATRIZ DE LOS DATOS en hoja2

```
Dim objExcel As Excel.Application
```

```
'Una variable de tipo Libro de Excel
```

```
Dim xLibro As Excel.Workbook
```

```
Dim Col As Integer. Fila As Integer. variable1 As Integer
```

```
Dim matrizdatos(43. 9000) As Double
```

```
Dim matriznombre(9000) As String
```

```
Dim nombrearchivo As String
```

```
mes = "05"
```

```
Select Case mes
```

```
Case "01"
```

```
filasinitiales = 4
```

```
Case "02"
```

```
filasinitiales = 67
```

```
Case "03"
```

```
filasinitiales = 130
```

```
Case "04"
```

```
filasinitiales = 193
```

```
Case "05"
```

```
filasinitiales = 320
```

```
Case "06"
```

```
filasinitiales = 273
```

```
Case "07"
```

```
filasinitiales = 327
```

```
Case "08"
```

```
filasinitiales = 381
```

```
Case "09"
```

```
filasinitiales = 435
```

```
Case "10"
```

```
filasinitiales = 490
```

```
Case "11"
```

```
filasinitiales = 544
```

```
Case "12"
```

```
filasinitiales = 602
```

```
End Select
```

```
horas = Array("00". "01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11".  
"12". "13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23")
```

```
"00". "01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12". "13".  
"14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23")
```

```
minutos = Array("00". "05". "10". "15". "20". "25". "30". "35". "40". "45". "50". "55")  
            ""00". "05". "10". "15". "20". "25". "30". "35". "40". "45". "50". "55"
```

```
Set objExcel = New Excel.Application
```

```
columnas = 8641
```

```
columnasi = columnas
```

```
' For Each item4 In meses  
    item4 = mes
```

```
'hola = MsgBox(item4)
```

```
Select Case item4
```

```
    Case "01"
```

```
        dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30". "31")
```

```
        Case "02"
```

```
        dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28")
```

```
        Case "03"
```

```
        dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30". "31")
```

```
        Case "04"
```

```
        dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30")
```

```
        Case "05"
```

```
        dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30")
```

```
        Case "06"
```

```
        dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30")
```

```
        Case "07"
```

```
        dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30". "31")
```

```
        Case "08"
```

```
        dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30". "31")
```

```
        Case "09"
```

```
dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30")
```

```
Case "10"
```

```
dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30". "31")
```

```
Case "11"
```

```
dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30")
```

```
Case "12"
```

```
dias = Array("01". "02". "03". "04". "05". "06". "07". "08". "09". "10". "11". "12".  
"13". "14". "15". "16". "17". "18". "19". "20". "21". "22". "23". "24". "25". "26". "27".  
"28". "29". "30". "31")
```

```
End Select
```

```
item3 = dias
```

```
For Each item3 In dias
```

```
For Each item2 In horas
```

```
For Each Item In minutos
```

```
On Error Resume Next
```

```
nombearchivo = "TT_2016_" & item4 & "_" & item3 & "_" & item2 & "_" &  
Item & "_00"
```

```
Set xLibro = Workbooks.Open("D:\users\juancarlos.herrera\Documents\ZA-  
MANTENIMIENTO\zo-ENERGIA\za-Estudios\2015-3-4-Macros de Excel\Datos3\" &  
nombearchivo)
```

```
matriznombre(columnas) = nombearchivo
```

```
For numvariables = 1 To 43
```

```
matrizdatos(numvariables. columnas) = Sheets(1).Cells(6 +  
numvariables. 3)
```

```
Next
```

```
columnas = columnas + 1
```

```
xLibro.Close
```

```
Next
```

```
Next
```

```
Next
```

```
For numcolumnas = columnasi To columnas
```

```
Sheets("Hoja2").Cells(filasincipales. 2 + numcolumnas) =  
matriznombre(numcolumnas)
```

```
For numvariables = 1 To 43
```

```
Sheets("Hoja2").Cells(numvariables + filasiniciales. 2 + numcolumnas) =  
matrizdatos(numvariables. numcolumnas)
```

```
Next
```

```
Next
```

```
Set objExcel = Nothing
```

```
Set xLibro = Nothing
```

```
End Sub
```

10.3 Rutinas para la extracción y graficado de datos

10.3.1 Extracción y graficado de datos: Consumo de gas.

Rutina 4.- de VisualBasic para extracción y realización de gráficas de datos de consumo de gas cada 5 minutos.

```
Sub Macro5()
```

```
'MACRO PARA DATOS CONSUMO DE GAS
```

```
mes = "mayo"
```

```
'selecciona de donde coger los datos segoen el mes
```

```
Select Case mes
```

```
Case "enero"
```

```
inicio = "c52"
```

```
Final = "kd52"
```

```
grafinicio = 315
```

```
graffinal = 345
```

```
Case "febrero"
```

```
inicio = "c115"
```

```
Final = "kd115"
```

```
grafinicio = 346
```

```
graffinal = 374
```

```
Case "marzo"
```

```
inicio = "c178"
```

```
Final = "kd178"
```

```
grafinicio = 4
```

```
graffinal = 34
```

```
Case "abril"
```

```
inicio = "c241"
```

```
Final = "kd241"
```

```
grafinicio = 36
```

```
graffinal = 65
```

```
Case "mayo"
```

```
inicio = "c304"
```

```
Final = "kd304"
```

```
    grafinicio = 67
    graffinal = 97
Case "junio"
    inicio = "c237"
    Final = "kd237"
    grafinicio = 98
    graffinal = 127
Case "julio"
    inicio = "c277"
    Final = "kd277"
    grafinicio = 129
    graffinal = 159
Case "agosto"
    inicio = "c317"
    Final = "kd317"
    grafinicio = 160
    graffinal = 190
Case "septiembre"
    inicio = "c357"
    Final = "kd357"
    grafinicio = 191
    graffinal = 220
Case "octubre"
    inicio = "c397"
    Final = "kd397"
    grafinicio = 222
    graffinal = 252
Case "noviembre"
    inicio = "c592"
    Final = "kd592"
    grafinicio = 253
    graffinal = 282
Case "diciembre"
    inicio = "c650"
    Final = "kd650"
    grafinicio = 284
    graffinal = 314
```

End Select

```
For numgraf = grafinicio To graffinal
    Worksheets("C.gas1").Activate
    ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate
    ActiveChart.PlotArea.Select
        ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
        ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 20
        ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesMajor)
    ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)
    Sheets("Hoja2").Activate
    ActiveSheet.Range(Final).Select
```

```
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
Final = ActiveCell.Address
inicio = Final
ActiveSheet.Range(Final).Select
ActiveCell.Offset(0, 287).Select
Final = ActiveCell.Address
Next
End Sub
```

Rutina 5.- de VisualBasic para extracción y realizar gráficas de consumo diario de gas

Sub Macro5()

```
'MACRO PARA DATOS CONSUMO DE GAS2
Dim matrizconsumos(300)
```

```
    mes = "mayo"
```

```
Select Case mes
```

```
Case "enero"
```

```
    inicio = "c53"
```

```
    Final = "kd53"
```

```
    grafinicio = 315
```

```
    graffinal = 345
```

```
Case "febrero"
```

```
    inicio = "c116"
```

```
    Final = "kd116"
```

```
    grafinicio = 346
```

```
    graffinal = 374
```

```
Case "marzo"
```

```
    inicio = "c179"
```

```
    Final = "kd179"
```

```
    grafinicio = 4
```

```
    graffinal = 34
```

```
Case "abril"
```

```
    inicio = "c242"
```

```
    Final = "kd242"
```

```
    grafinicio = 36
```

```
    graffinal = 65
```

```
Case "mayo"
```

```
    inicio = "c305"
```

```
    Final = "kd305"
```

```
    grafinicio = 67
```

```
    graffinal = 97
```

```
Case "junio"
```

```
    inicio = "c238"
```

```
    Final = "kd238"
```

```
    grafinicio = 98
```

```
    graffinal = 127
```

```
Case "julio"
```

```
inicio = "c278"  
Final = "kd278"  
grafinicio = 129  
graffinal = 159  
Case "agosto"  
inicio = "c318"  
Final = "kd318"  
grafinicio = 160  
graffinal = 190  
Case "septiembre"  
inicio = "c358"  
Final = "kd358"  
grafinicio = 191  
graffinal = 220  
Case "octubre"  
inicio = "c398"  
Final = "kd398"  
grafinicio = 222  
graffinal = 252  
Case "noviembre"  
inicio = "c593"  
Final = "kd593"  
grafinicio = 253  
graffinal = 282  
Case "diciembre"  
inicio = "c651"  
Final = "kd651"  
grafinicio = 284  
graffinal = 314  
End Select  
Sheets("Hoja2").Activate  
For numgraf2 = grafinicio To graffinal  
consumodia = -ActiveSheet.Range(inicio).Offset(-11, 0).Value +  
ActiveSheet.Range(Final).Offset(-11, 0).Value  
For contador = 0 To 287  
ActiveSheet.Range(inicio).Offset(0, contador) = consumodia  
Next  
ActiveSheet.Range(Final).Select  
ActiveCell.Offset(0, 1).Select  
Final = ActiveCell.Address  
inicio = Final  
ActiveSheet.Range(Final).Select  
ActiveCell.Offset(0, 287).Select  
Final = ActiveCell.Address  
Next  
  
Select Case mes  
Case "enero"  
inicio = "c53"  
Final = "kd53"
```

grafinicio = 315
graffinal = 345
Case "febrero"
inicio = "c116"
Final = "kd116"
grafinicio = 346
graffinal = 373
Case "marzo"
inicio = "c179"
Final = "kd179"
grafinicio = 4
graffinal = 34
Case "abril"
inicio = "c242"
Final = "kd242"
grafinicio = 36
graffinal = 65
Case "mayo"
inicio = "c305"
Final = "kd305"
grafinicio = 67
graffinal = 97
Case "junio"
inicio = "c238"
Final = "kd238"
grafinicio = 98
graffinal = 127
Case "julio"
inicio = "c278"
Final = "kd278"
grafinicio = 129
graffinal = 159
Case "agosto"
inicio = "c318"
Final = "kd318"
grafinicio = 160
graffinal = 190
Case "septiembre"
inicio = "c358"
Final = "kd358"
grafinicio = 191
graffinal = 220
Case "octubre"
inicio = "c398"
Final = "kd398"
grafinicio = 222
graffinal = 252
Case "noviembre"
inicio = "c593"
Final = "kd593"

```
    grafinicio = 253
    graffinal = 282
    Case "diciembre"
    inicio = "c651"
    Final = "kd651"
    grafinicio = 284
    graffinal = 314
```

```
End Select
```

```
For numgraf = grafinicio To graffinal
    Worksheets("C.gas2").Activate
    ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate
    ActiveChart.PlotArea.Select
        ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
        ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 3000
        ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesMajor)
    ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)
    ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleCenteredOverlay)
    Selection.Caption = Sheets("Hoja2").Range(inicio).Value
    Sheets("Hoja2").Activate
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
    Final = ActiveCell.Address
    inicio = Final
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0, 287).Select
    Final = ActiveCell.Address
Next
End Sub
```

10.3.2 Extracción y graficado de datos: Producción de energía térmica

Rutina 6.- de VisualBasic para extracción y realizar gráficas de kWh térmicos producidos.

Sub Macro5()

'MACRO PARA DATOS DE KWH DE CALDERAS

```
    mes = "mayo"

    Select Case mes
    Case "enero"
    inicio = "c54"
    Final = "kd54"
    grafinicio = 315
    graffinal = 345
    Case "febrero"
    inicio = "c117"
    Final = "kd117"
```

grafinicio = 346
graffinal = 373
Case "marzo"
inicio = "c180"
Final = "kd180"
grafinicio = 4
graffinal = 34
Case "abril"
inicio = "c243"
Final = "kd243"
grafinicio = 36
graffinal = 65
Case "mayo"
inicio = "c306"
Final = "kd306"
grafinicio = 67
graffinal = 97
Case "junio"
inicio = "c237"
Final = "kd237"
grafinicio = 98
graffinal = 127
Case "julio"
inicio = "c277"
Final = "kd277"
grafinicio = 129
graffinal = 159
Case "agosto"
inicio = "c317"
Final = "kd317"
grafinicio = 160
graffinal = 190
Case "septiembre"
inicio = "c357"
Final = "kd357"
grafinicio = 191
graffinal = 220
Case "octubre"
inicio = "c397"
Final = "kd397"
grafinicio = 222
graffinal = 252
Case "noviembre"
inicio = "c594"
Final = "kd594"
grafinicio = 253
graffinal = 282
Case "diciembre"
inicio = "c652"
Final = "kd652"

```
    grafinicio = 284
    graffinal = 314
End Select

For numgraf = grafinicio To graffinal
    Worksheets("kWh-Cald").Activate
    ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate
    ActiveChart.PlotArea.Select
        ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
        ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 2500
        ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesMajor)
    ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)
    Sheets("Hoja2").Activate
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
    Final = ActiveCell.Address
    inicio = Final
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0, 287).Select
    Final = ActiveCell.Address

Next

End Sub
```

10.3.3 Extracción y graficado de datos: Consumo de agua.

Rutina 7.- de VisualBasic para extracción y realizar gráficas de consumos de agua cada cinco minutos (m3/5min)

Sub Macro5()

'MACRO PARA DATOS CONSUMO DE AGUA

mes = "febrero"

'selecciona de donde coger los datos según el mes

Select Case mes

Case "enero"

 inicio = "c50"

 Final = "kd50"

 grafinicio = 315

 graffinal = 345

Case "febrero"

 inicio = "c113"

 Final = "kd113"

 grafinicio = 346

 graffinal = 373

Case "marzo"

 inicio = "c115"

```
Final = "kd115"  
  grafinicio = 4  
  graffinal = 34  
Case "abril"  
  inicio = "c155"  
  Final = "kd155"  
  grafinicio = 36  
  graffinal = 65  
Case "mayo"  
  inicio = "c195"  
  Final = "kd195"  
  grafinicio = 67  
  graffinal = 97  
Case "junio"  
  inicio = "c235"  
  Final = "kd235"  
  grafinicio = 98  
  graffinal = 127  
Case "julio"  
  inicio = "c275"  
  Final = "kd275"  
  grafinicio = 129  
  graffinal = 159  
Case "agosto"  
  inicio = "c423"  
  Final = "kd423"  
  grafinicio = 160  
  graffinal = 190  
Case "septiembre"  
  inicio = "c478"  
  Final = "kd478"  
  grafinicio = 191  
  graffinal = 220  
Case "octubre"  
  inicio = "c532"  
  Final = "kd532"  
  grafinicio = 222  
  graffinal = 252  
Case "noviembre"  
  inicio = "c590"  
  Final = "kd590"  
  grafinicio = 253  
  graffinal = 282  
Case "diciembre"  
  inicio = "c648"  
  Final = "kd648"  
  grafinicio = 284  
  graffinal = 314  
End Select  
For numgraf = grafinicio To graffinal
```

```
Worksheets("C.agua1").Activate
    ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate
    ActiveChart.PlotArea.Select
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
    ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 2
    ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesMajor)

    ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)
Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0. 1).Select
    Final = ActiveCell.Address
    inicio = Final
    ' resp = MsgBox(inicio)
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0. 287).Select
    Final = ActiveCell.Address

    'resp = MsgBox(inicio)
    'resp = MsgBox(Final)
Next
End Sub
```

Rutina 8.- de VisualBasic para extracción y realizar gráficas de consumos de agua en un día (m3/día)

Sub Macro5()

```
'MACRO PARA DATOS CONSUMO DE AGUA
Dim matrizconsumos(300)
mes = "enero"
'selecciona de donde coger los datos según el mes
Select Case mes
    Case "enero"
        inicio = "c51"
        Final = "kd51"
        grafinicio = 315
        graffinal = 345
    Case "febrero"
        inicio = "c114"
        Final = "kd114"
        grafinicio = 346
        graffinal = 373
    Case "marzo"
        inicio = "c116"
        Final = "kd116"
        grafinicio = 4
        graffinal = 34
    Case "abril"
        inicio = "c156"
        Final = "kd156"
```

```

    grafinicio = 36
    graffinal = 65
Case "mayo"
    inicio = "c196"
    Final = "kd196"
    grafinicio = 67
    graffinal = 97
Case "junio"
    inicio = "c236"
    Final = "kd236"
    grafinicio = 98
    graffinal = 127
Case "julio"
    inicio = "c370"
    Final = "kd370"
    grafinicio = 129
    graffinal = 159
Case "agosto"
    inicio = "c424"
    Final = "kd424"
    grafinicio = 160
    graffinal = 190
Case "septiembre"
    inicio = "c479"
    Final = "kd479"
    grafinicio = 191
    graffinal = 220
Case "octubre"
    inicio = "c533"
    Final = "kd533"
    grafinicio = 222
    graffinal = 252
Case "noviembre"
    inicio = "c591"
    Final = "kd591"
    grafinicio = 253
    graffinal = 282
Case "diciembre"
    inicio = "c649"
    Final = "kd649"
    grafinicio = 284
    graffinal = 314
End Select
'Rutina de creación de datos de consumo de agua totales por día
Sheets("Hoja2").Activate
' For Each item3 In dias
For numgraf2 = grafinicio To graffinal
consumodia = -ActiveSheet.Range(inicio).Offset(-8. 0).Value +
ActiveSheet.Range(Final).Offset(-8. 0).Value
For contador = 0 To 287

```

```
ActiveSheet.Range(inicio).Offset(0. contador) = consumodia
Next
ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0. 1).Select
    Final = ActiveCell.Address
    inicio = Final
    ' resp = MsgBox(inicio)
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0. 287).Select
    Final = ActiveCell.Address
Next
' resp = MsgBox(consumodia)
' Next
' resp = MsgBox(inicio)
    ' resp = MsgBox(Final)
'FINAL DE Rutina de creación de datos de consumo de agua totales por día
Select Case mes
    Case "enero"
        inicio = "c51"
        Final = "kd51"
        grafinicio = 315
        graffinal = 345
    Case "febrero"
        inicio = "c114"
        Final = "kd114"
        grafinicio = 346
        graffinal = 373
    Case "marzo"
        inicio = "c116"
        Final = "kd116"
        grafinicio = 4
        graffinal = 34
    Case "abril"
        inicio = "c156"
        Final = "kd156"
        grafinicio = 36
        graffinal = 65
    Case "mayo"
        inicio = "c196"
        Final = "kd196"
        grafinicio = 67
        graffinal = 97
    Case "junio"
        inicio = "c236"
        Final = "kd236"
        grafinicio = 98
        graffinal = 127
    Case "julio"
        inicio = "c370"
        Final = "kd370"
```

```

    grafinicio = 129
    graffinal = 159
Case "agosto"
    inicio = "c424"
    Final = "kd424"
    grafinicio = 160
    graffinal = 190
Case "septiembre"
    inicio = "c479"
    Final = "kd479"
    grafinicio = 191
    graffinal = 220
Case "octubre"
    inicio = "c533"
    Final = "kd533"
    grafinicio = 222
    graffinal = 252
Case "noviembre"
    inicio = "c591"
    Final = "kd591"
    grafinicio = 253
    graffinal = 282
Case "diciembre"
    inicio = "c649"
    Final = "kd649"
    grafinicio = 284
    graffinal = 314
End Select
For numgraf = grafinicio To graffinal
Worksheets("C.agua2").Activate
    ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate
ActiveChart.PlotArea.Select
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
    ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 200
    ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesMajor)
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)
    ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleCenteredOverlay)
    Selection.Caption = Sheets("Hoja2").Range(inicio).Value
Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0. 1).Select
    Final = ActiveCell.Address
    inicio = Final
    ' resp = MsgBox(inicio)
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0. 287).Select
    Final = ActiveCell.Address
'resp = MsgBox(inicio)
'resp = MsgBox(Final)
Next

```

End Sub

10.3.4 Extracción y graficado de datos: rendimientos del sistema de calefacción

Rutina 9.- de VisualBasic para extracción y realizar gráficas de rendimientos del sistema de calefacción.

Sub Macro5()

'MACRO PARA DATOS rendimiento CALDERAS

Dim matrizenergiaT(50)

Dim matrizenergiagas(50)

Dim matrizrendimiento(50)

mes = "mayo"

Select Case mes

Case "enero"

inicio = "c55"

Final = "kd55"

grafinicio = 315

graffinal = 345

Case "febrero"

inicio = "c118"

Final = "kd118"

grafinicio = 346

graffinal = 373

Case "marzo"

inicio = "c181"

Final = "kd181"

grafinicio = 4

graffinal = 34

Case "abril"

inicio = "c244"

Final = "kd244"

grafinicio = 36

graffinal = 65

Case "mayo"

inicio = "c307"

Final = "kd307"

grafinicio = 67

graffinal = 97

Case "junio"

inicio = "c238"

Final = "kd238"

grafinicio = 98

graffinal = 127

Case "julio"

```
inicio = "c278"  
Final = "kd278"  
grafinicio = 129  
graffinal = 159  
Case "agosto"  
inicio = "c318"  
Final = "kd318"  
grafinicio = 160  
graffinal = 190  
Case "septiembre"  
inicio = "c358"  
Final = "kd358"  
grafinicio = 191  
graffinal = 220  
Case "octubre"  
inicio = "c398"  
Final = "kd398"  
grafinicio = 222  
graffinal = 252  
Case "noviembre"  
inicio = "c595"  
Final = "kd595"  
grafinicio = 253  
graffinal = 282  
Case "diciembre"  
inicio = "c653"  
Final = "kd653"  
grafinicio = 284  
graffinal = 314  
End Select  
Sheets("Hoja2").Activate  
ActiveSheet.Range(inicio).Select  
For a = 1 To 31  
    energiatermica = 0  
    For b = 0 To 287  
        ActiveCell.Offset(-3, 0).Select  
        consumogascadacincominutos = ActiveCell.Value  
        ActiveCell.Offset(3, 0).Select  
        If consumogascadacincominutos <> 0 Then  
            energiatermica = ActiveCell.Value + energiatermica  
        End If  
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select  
    Next  
    ActiveCell.Offset(1, -1).Select  
    energiagas = ActiveCell.Value  
    ActiveCell.Offset(-1, 1).Select  
    matrizenergiaT(a) = energiatermica  
    matrizenergiagas(a) = energiagas  
    If energiagas <> 0 Then  
        matrizrendimiento(a) = energiatermica / energiagas
```

```
Else
  matrizrendimiento(a) = 0
End If
Next
Sheets("Hoja2").Activate
a = 1
For numgraf = grafinicio To graffinal
  For contador = 0 To 287
    ActiveSheet.Range(inicio).Offset(2, contador).Value = matrizrendimiento(a)
  Next
  ActiveSheet.Range(Final).Select
  ActiveCell.Offset(0, 1).Select
  Final = ActiveCell.Address
  inicio = Final
  ActiveSheet.Range(Final).Select
  ActiveCell.Offset(0, 287).Select
  Final = ActiveCell.Address
  a = a + 1
Next
```

'RUTINA DE IMPRESIÓN DE GRÁFICOS. valores de la fila del rendimiento

```
Select Case mes
Case "enero"
  inicio = "c57"
  Final = "kd57"
  grafinicio = 315
  graffinal = 345
Case "febrero"
  inicio = "c120"
  Final = "kd120"
  grafinicio = 346
  graffinal = 373
Case "marzo"
  inicio = "c183"
  Final = "kd183"
  grafinicio = 4
  graffinal = 34
Case "abril"
  inicio = "c246"
  Final = "kd246"
  grafinicio = 36
  graffinal = 65
Case "mayo"
  inicio = "c309"
  Final = "kd309"
  grafinicio = 67
  graffinal = 97
Case "junio"
  inicio = "c238"
```

```
Final = "kd238"  
grafinicio = 98  
graffinal = 127  
Case "julio"  
inicio = "c278"  
Final = "kd278"  
grafinicio = 129  
graffinal = 159  
Case "agosto"  
inicio = "c318"  
Final = "kd318"  
grafinicio = 160  
graffinal = 190  
Case "septiembre"  
inicio = "c358"  
Final = "kd358"  
grafinicio = 191  
graffinal = 220  
Case "octubre"  
inicio = "c398"  
Final = "kd398"  
grafinicio = 222  
graffinal = 252  
Case "noviembre"  
inicio = "c597"  
Final = "kd597"  
grafinicio = 253  
graffinal = 282  
Case "diciembre"  
inicio = "c655"  
Final = "kd655"  
grafinicio = 284  
graffinal = 314  
End Select  
  
For numgraf = grafinicio To graffinal  
Worksheets("Rend.Cald").Activate  
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate  
ActiveChart.PlotArea.Select  
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0  
ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 1  
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesMajor)  
ActiveSheet.SeriesCollection(1).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)  
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleCenteredOverlay)  
Selection.Caption = Sheets("Hoja2").Range(inicio).Value  
  
Sheets("Hoja2").Activate  
ActiveSheet.Range(Final).Select  
ActiveCell.Offset(0, 1).Select  
Final = ActiveCell.Address
```

```
inicio = Final
' resp = MsgBox(inicio)
ActiveSheet.Range(Final).Select
ActiveCell.Offset(0, 287).Select
Final = ActiveCell.Address
Next
End Sub
```

Rutina 10.- de VisualBasic para calcular y realizar gráficos de rendimientos, temperaturas medias, y humedad relativa media del sistema de calefacción.

Sub Macro6()

'MACRO PARA DATOS rendimiento CALDERAS

```
Dim matrizenergiaT(50)
Dim matrizenergiagas(50)
Dim matrizrendimiento(50)
Dim matriztempmedia(50)
Dim matrizhumedia(50)
mes = "marzo"
'selecciona de donde coger los datos según el mes
Select Case mes
Case "enero"
    inicio = "c57"
    Final = "kd57"
    datosinicio = "BL2"
    datosfin = "CP2"
    grafinicio = 315
    graffinal = 345
Case "febrero"
    inicio = "c120"
    Final = "kd120"
    datosinicio = "CQ2"
    datosfin = "DS2"
    grafinicio = 346
    graffinal = 373
Case "marzo"
    inicio = "c183"
    Final = "kd183"
    datosinicio = "DT2"
    datosfin = "EX2"
    grafinicio = 4
    graffinal = 34
Case "abril"
    inicio = "c158"
    Final = "kd158"
    grafinicio = 36
    graffinal = 65
Case "mayo"
```

```
    inicio = "c198"  
    Final = "kd198"  
    grafinicio = 67  
    graffinal = 97  
Case "junio"  
    inicio = "c238"  
    Final = "kd238"  
    grafinicio = 98  
    graffinal = 127  
Case "julio"  
    inicio = "c278"  
    Final = "kd278"  
    grafinicio = 129  
    graffinal = 159  
Case "agosto"  
    inicio = "c318"  
    Final = "kd318"  
    grafinicio = 160  
    graffinal = 190  
Case "septiembre"  
    inicio = "c358"  
    Final = "kd358"  
    grafinicio = 191  
    graffinal = 220  
Case "octubre"  
    inicio = "c398"  
    Final = "kd398"  
    grafinicio = 222  
    graffinal = 252  
Case "noviembre"  
    inicio = "c597"  
    Final = "kd597"  
    datosinicio = "b2"  
    datosfin = "af2"  
    grafinicio = 253  
    graffinal = 282  
Case "diciembre"  
    inicio = "c683"  
    Final = "kd683"  
    datosinicio = "ag2"  
    datosfin = "bk2"  
    grafinicio = 284  
    graffinal = 314  
End Select  
'RUTINA DE CREACIÓN DE DATOS DE RENDIMIENTOS  
Sheets("Hoja2").Activate  
ActiveSheet.Range(inicio).Select  
For a = 1 To 31  
matrizrendimiento(a) = ActiveCell.Value  
ActiveSheet.Offset(0, 288).Select
```

```
Next
Worksheets("Resumen Rend.").Activate
    ActiveSheet.Range(datosinicio).Offset(1. 0).Select
For a = 1 To 31
    ActiveCell.Value = matrizrendimiento(a)
    ActiveCell.Offset(0. 1).Select
' resp = MsgBox(matrizrendimiento(a))
Next
' resp = MsgBox("parada 1")
```

'RUTINA DE CREACIÓN DE DATOS DE TEMPERATURAS MEDIAS

```
Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(inicio).Offset(-27. 0).Select
For b = 1 To 31
tempmediadiaria = 0
For a = 1 To 288
tempmediadiaria = ActiveCell.Value + tempmediadiaria
ActiveSheet.Offset(0. 1).Select
' resp = MsgBox(tempmediadiaria)
Next
matriztempmedia(b) = tempmediadiaria / 288
' resp = MsgBox(matriztempmedia(b))
Next
```

```
    Worksheets("Resumen Rend.").Activate
    ActiveSheet.Range(datosinicio).Offset(2. 0).Select
For a = 1 To 31
    ActiveCell.Value = matriztempmedia(a)
    ActiveCell.Offset(0. 1).Select
Next
```

'RUTINA DE CREACIÓN DE DATOS DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA

```
Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(inicio).Offset(-50. 0).Select
For b = 1 To 31
humediadiaria = 0
For a = 1 To 288
humediadiaria = ActiveCell.Value + humediadiaria
ActiveSheet.Offset(0. 1).Select
' resp = MsgBox(humediadiaria)
Next
matrizhumedia(b) = humediadiaria / 288
' resp = MsgBox(matrizhumedia(b))
Next
Worksheets("Resumen Rend.").Activate
ActiveSheet.Range(datosinicio).Offset(3. 0).Select
For a = 1 To 31
    ActiveCell.Value = matrizhumedia(a)
    ActiveCell.Offset(0. 1).Select
```

```
Next
'RUTINA DE CREACIÓN DE DATOS DE kWh de cada día
Sheets("Hoja2").Activate
' For Each item3 In días
ActiveSheet.Range(inicio).Offset(-2, 0).Select
For a = 1 To 31
energiatermica = 0
For b = 0 To 287
energiatermica = ActiveCell.Value + energiatermica
                ActiveCell.Offset(0, 1).Select
Next
                ' resp = MsgBox(energiatermica)
ActiveSheet.Offset(1, -1).Select
                energiagas = ActiveCell.Value
                ActiveCell.Offset(-1, 1).Select
' resp = MsgBox(energiagas)
matrizenergiaT(a) = energiatermica
Next
Worksheets("Resumen Rend.").Activate
ActiveSheet.Range(datosinicio).Offset(4, 0).Select
For a = 1 To 31
ActiveCell.Value = matrizenergiaT(a)
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
Next
End Sub
```

Sub Macro7()

'RUTINAS DE IMPRESIÓN DE GRÁFICOS

'RUTINA DE IMPRESIÓN DE GRÁFICO DE rendimiento vs FECHA

```
        Worksheets("Resumen Rend.").Activate
        ActiveSheet.ChartObjects("1 Gráfico").Activate

        ActiveChart.PlotArea.Select
        ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
            ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 1
            ActiveChart.ChartArea.Select
            ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
            'ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = ""Rend vs Fecha""
            ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "'Resumen Rend.!'$B$2:$ds$2"
            ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "'Resumen Rend.!'$B$3:$ds$3"
' resp = MsgBox("parada 1")
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleCenteredOverlay)
' resp = MsgBox("parada 2")
```

'RUTINA DE IMPRESIÓN DE GRÁFICO DE TEMPERATURA MEDIA vs FECHA

```
Worksheets("Resumen Rend.").Activate  
ActiveSheet.ChartObjects("2 Gráfico").Activate
```

```
ActiveChart.PlotArea.Select  
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = -5  
ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 15  
ActiveChart.ChartArea.Select  
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
'ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = ""Temp.Med. vs Fecha""  
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "'Resumen Rend.!'$B$2:$ds$2"  
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "'Resumen Rend.!'$B$4:$ds$4"  
' resp = MsgBox("parada 1")  
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleCenteredOverlay)  
' resp = MsgBox("parada 2")
```

'RUTINA DE IMPRESIÓN DE GRÁFICO DE rendimiento vs
TEMPERATURA MEDIA

```
Worksheets("Resumen Rend.").Activate  
ActiveSheet.ChartObjects("3 Gráfico").Activate  
ActiveChart.PlotArea.Select  
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = -1  
ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 1  
ActiveChart.ChartArea.Select  
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
' ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = ""Rend. vs Temp.Med.""  
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "'Resumen Rend.!'$B$4:$ds$4"  
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "'Resumen Rend.!'$B$3:$ds$3"  
' resp = MsgBox("parada 3")  
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleCenteredOverlay)  
' resp = MsgBox("parada 4")
```

'RUTINA DE IMPRESIÓN DE GRÁFICO DE rendimiento vs HUMEDAD
RELATIVA MEDIA

```
Worksheets("Resumen Rend.").Activate  
ActiveSheet.ChartObjects("4 Gráfico").Activate  
ActiveChart.PlotArea.Select  
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0  
ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 1  
ActiveChart.ChartArea.Select  
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries  
' ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = ""Rend. vs Hum. rel. media""  
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "'Resumen Rend.!'$B$5:$ds$5"  
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "'Resumen Rend.!'$B$3:$ds$3"  
' resp = MsgBox("parada 3")  
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleCenteredOverlay)  
' resp = MsgBox("parada 4")
```

'RUTINA DE IMPRESIÓN DE GRÁFICO DE rendimiento vs kWh

```
Worksheets("Resumen Rend.").Activate
ActiveSheet.ChartObjects("5 Gráfico").Activate
ActiveChart.PlotArea.Select
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
    ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 1
    ActiveChart.ChartArea.Select
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ' ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = ""Rend. vs kWh""
    ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "'Resumen Rend.!'$B$6:$ds$6"
    ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "'Resumen Rend.!'$B$3:$ds$3"
' resp = MsgBox("parada 3")
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleCenteredOverlay)
' resp = MsgBox("parada 4")
End Sub
```

10.3.5 Extracción y graficado de datos: Temperatura de impulsión en las calderas.

Rutina 11.-VisualBasic para extracción y realizar gráficas de temperatura de impulsión en las calderas

Sub Macro20()

'MACRO PARA DATOS DE TEMPERATURAS DEL AGUA A LA SALIDA DE CALDERAS

```
mes = "mayo"
'selecciona de donde coger los datos según el mes
Select Case mes
Case "enero"
    inicio = "c23"
    Final = "kd23"
    grafinicio = 315
    graffinal = 345
Case "febrero"
    inicio = "c86"
    Final = "kd86"
    grafinicio = 346
    graffinal = 373
Case "marzo"
    inicio = "c149"
    Final = "kd149"
    grafinicio = 4
    graffinal = 34
Case "abril"
    inicio = "c212"
    Final = "kd212"
    grafinicio = 36
    graffinal = 65
```

```
Case "mayo"  
  inicio = "c275"  
  Final = "kd275"  
  grafinicio = 67  
  graffinal = 97  
Case "junio"  
  inicio = "c237"  
  Final = "kd237"  
  grafinicio = 98  
  graffinal = 127  
Case "julio"  
  inicio = "c277"  
  Final = "kd277"  
  grafinicio = 129  
  graffinal = 159  
Case "agosto"  
  inicio = "c317"  
  Final = "kd317"  
  grafinicio = 160  
  graffinal = 190  
Case "septiembre"  
  inicio = "c357"  
  Final = "kd357"  
  grafinicio = 191  
  graffinal = 220  
Case "octubre"  
  inicio = "c397"  
  Final = "kd397"  
  grafinicio = 222  
  graffinal = 252  
Case "noviembre"  
  inicio = "c594"  
  Final = "kd594"  
  grafinicio = 253  
  graffinal = 282  
Case "diciembre"  
  inicio = "c652"  
  Final = "kd652"  
  grafinicio = 284  
  graffinal = 314  
End Select
```

```
For numgraf = grafinicio To graffinal  
  Worksheets("Temp.Cald.").Activate  
  ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate  
  ActiveChart.PlotArea.Select  
  ActiveChart.ChartType = xlLine  
  ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0  
  ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 85  
  ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesMajor)
```

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)
ActiveChart.ClearToMatchStyle
ActiveChart.ChartStyle = 2
ActiveChart.ClearToMatchStyle
Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(inicio).Select
ActiveCell.Offset(1. 0).Select
inicio = ActiveCell.Address
Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(Final).Select
ActiveCell.Offset(1. 0).Select
Final = ActiveCell.Address
Worksheets("Temp.Cald.").Activate
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate
ActiveChart.PlotArea.Select
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 85
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueGridLinesMajor)
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)
Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(inicio).Select
ActiveCell.Offset(-1. 0).Select
inicio = ActiveCell.Address

Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(Final).Select
ActiveCell.Offset(-1. 0).Select
Final = ActiveCell.Address
Sheets("Hoja2").Activate
ActiveSheet.Range(Final).Select
ActiveCell.Offset(0. 1).Select
Final = ActiveCell.Address
inicio = Final
ActiveSheet.Range(Final).Select
ActiveCell.Offset(0. 287).Select
Final = ActiveCell.Address
Next
End Sub
```

10.3.6 Extracción y graficado de datos: Producción de energía eléctrica

Rutina 12.- de VisualBasic para extracción y realizar gráficas de consumo de energía eléctrica.

```
Sub Macro3()
mes = "marzo"
'MACRO PARA DATOS ELÉCTRICOS
```

Select Case mes

Case "enero"

inicio = "c49"

Final = "kd49"

grafinicio = 315

graffinal = 345

Case "febrero"

inicio = "c112"

Final = "kd112"

grafinicio = 346

graffinal = 373

Case "marzo"

inicio = "c175"

Final = "kd175"

grafinicio = 4

graffinal = 34

Case "abril"

inicio = "c206"

Final = "kd206"

grafinicio = 36

graffinal = 65

Case "mayo"

inicio = "c260"

Final = "kd260"

grafinicio = 67

graffinal = 97

Case "junio"

inicio = "c314"

Final = "kd314"

grafinicio = 98

graffinal = 127

Case "julio"

inicio = "c368"

Final = "kd368"

grafinicio = 129

graffinal = 159

Case "agosto"

inicio = "c422"

Final = "kd422"

grafinicio = 160

graffinal = 190

Case "septiembre"

inicio = "c477"

Final = "kd477"

grafinicio = 191

graffinal = 220

Case "octubre"

inicio = "c531"

Final = "kd531"

grafinicio = 222

```
    graffinal = 252
Case "noviembre"
    inicio = "c589"
    Final = "kd589"
    grafinicio = 253
    graffinal = 282
Case "diciembre"
    inicio = "c647"
    Final = "kd647"
    grafinicio = 284
    graffinal = 314
End Select

For numgraf = grafinicio To graffinal
    Worksheets("C.elect").Activate
    ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & numgraf).Activate
    ActiveChart.PlotArea.Select
    ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = Sheets("Hoja2").Range(inicio. Final)
    Sheets("Hoja2").Activate
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0. 1).Select
    Final = ActiveCell.Address
    inicio = Final
    ActiveSheet.Range(Final).Select
    ActiveCell.Offset(0. 287).Select
    Final = ActiveCell.Address
Next
End Sub
```