



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**PROYECTO INDUSTRIAL
DE
APROVECHAMIENTO DEL CALOR DISIPADO
POR MEDIO DE DISTRICT HEATING AND COOLING**

Alumno: D^a. IRENE PLAZA LUIS

Director: D. VÍCTOR MANUEL PADRÓN NÁPOLES

ENERO 2023

TÍTULO: PROYECTO INDUSTRIAL DE APROVECHAMIENTO DEL CALOR
DISIPADO POR MEDIO DE DISTRICT HEATING AND COOLING.

AUTOR: IRENE PLAZA LUIS

DIRECTOR DEL PROYECTO: VÍCTOR MANUEL PADRÓN NÁPOLES

FECHA: 27 DE ENERO DE 2023

AGRADECIMIENTOS:

A mi padre, José Antonio, por darme seguridad en mi creatividad.

A mi madre, María Luisa, por su carácter resuelto y lógico.

A mi director de TFM, Víctor, por su guía y compromiso conmigo en este proyecto.

A mis amistades y familiares, por ser tan buen apoyo emocional durante cualquier temporada.

A la Universidad Europea de Madrid, por la gran calidad de recursos, visitas, formación y profesores.

RESUMEN

La propuesta de este proyecto consiste en diseñar y calcular una red de distrito en el barrio Rejas (Madrid) que conecte el centro de procesamiento de datos (CPD) Global Switch TIER III a sus edificios más próximos, para aprovechar la energía calorífica de las máquinas del CPD que hoy condensan por aire, empleando en su lugar máquinas agua-agua. De esta manera, CPD y vecinos se beneficiarán mutuamente en el abastecimiento de calor y frío continuo, durante todo el año y de forma rentable (respecto a las calderas que utilizan los edificios). Además, el consumo eléctrico neto de las máquinas y elementos empleados contará con una contribución de energía fotovoltaica.

El TFM expone primero el contexto de las teorías científicas que han demostrado la existencia con total seguridad del cambio climático, explica las Cumbres del Clima y sus Acuerdos para introducir las razones que han impulsado el proyecto, y establece una propuesta que ayude a cumplir con la Agenda 2030 (ODS), con el Marco Estratégico de Energía y Clima de la Comisión Europea, y con los objetivos del Paquete de Energía Limpia hasta 2050.

El uso de todas las fuentes de energía limpias que ayuden a reducir el cambio climático y a aumentar la independencia energética de España, es un objetivo crucial, especialmente desde las tensiones políticas con la guerra de Rusia y Ucrania, y anteriormente con la pandemia del Covid-19.

Palabras clave: Red de distrito, fotovoltaica, CPD, cambio climático.

ABSTRACT

The proposal of this project is to design and calculate a district network in the Rejas neighbourhood (Madrid) that connects the Global Switch TIER III data center (DC) to its nearest buildings, to take advantage of the heat energy of the data center's machines that today condense by air, using instead water-water machines. In this way, data centers and neighbours will benefit from each other in providing continuous, year-round heat and cooling in a cost-effective manner (compared to boilers used by buildings). In addition, the net electricity consumption of the machines and components used will have a contribution from photovoltaic energy.

The TFM first sets out the context of the scientific theories that have proved the absolute existence of climate change, explains the Climate Summits and their Agreements to introduce the reasons that have driven the project, and sets out a proposal that will help meet the 2030 Agenda (ODS), the European Commission's Strategic Framework for Energy and Climate, and the goals of the Clean Energy Package up to 2050.

The use of all clean energy sources that help reduce climate change and increase Spain's energy independence, is a crucial goal, especially since the political tensions with the war in Russia and Ukraine, and earlier with the Covid-19 pandemic.

Key words: District Heating and Cooling, photovoltaics, Data center, Climate Change.

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	4
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.1.1 EFECTO INVERNADERO.....	13
1.1.2 IMPACTO DEL USO DE REFRIGERANTES.....	18
1.1.3 CAMBIO CLIMÁTICO	19
1.1.4 TRANSICIÓN ENERGÉTICA.....	24
1.1.5 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	35
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	41
1.3. OBJETO DEL PROYECTO	44
1.4. EMPLAZAMIENTO.....	44
1.5. ALCANCE DEL PROYECTO.....	45
1.6. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....	45
MEMORIA	47
Capítulo 2. DISPOSICIONES LEGALES	48
Capítulo 3. VIABILIDAD TÉCNICA Y COMERCIAL	51
3.1. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS.....	51
3.1.1. CENTRAL TÉRMICA VS CENTRO DE DATOS	51
3.1.2. CALDERA VS BOMBA DE CALOR.....	56
3.2. TEORÍA DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.....	67
3.2.1. TEORÍA DE CENTROS DE DATOS	67
3.2.2. TEORÍA DE DISTRICT HEATING AND COOLING	81
3.3. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA – ESTE PROYECTO	94
3.4. JUSTIFICACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	99
3.5. SUBVENCIONES	105
3.6. SERVIDUMBRES	107
3.7. REFERENCIAS DE OTROS PROYECTOS PARECIDOS.....	109
Capítulo 4. INGENIERÍA BÁSICA DEL PROYECTO	115

4.1.	DEMANDA Y CERTIFICACIÓN PRELIMINAR DE LOS EDIFICIOS DEL TFM.....	116
4.2.	ACCIONES Y SEGURIDAD ESTRUCTURAL – CÁLCULOS	137
4.3.	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA – CÁLCULOS	140
4.4.	DISTRICT HEATING AND COOLING – CÁLCULOS	156
4.5.	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN	173
Capítulo 5.	ESTUDIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL	177
5.1.	ESTUDIO ECONÓMICO COMPARATIVO Y FLUJO DE CAJA.....	177
5.2.	AHORRO EN EMISIONES NOCIVAS.....	184
5.3.	CERTIFICACIÓN RESULTANTE DE LOS EDIFICIOS DEL TFM	187
Capítulo 6.	CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS	189
Capítulo 7.	ANEXOS A LA MEMORIA	193
7.1.	PLANOS	193
7.2.	FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS PRESUPUESTADOS	199
Capítulo 8.	PLIEGO DE CONDICIONES.....	208
8.1.	CONDICIONES GENERALES DE CONTORNO	208
8.2.	ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS	213
8.3.	ESPECIFICACIONES DE EJECUCIÓN	221
Capítulo 9.	PRESUPUESTO	231
Capítulo 10.	ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA.....	242
Capítulo 11.	BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA	249

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1</i> Capas que constituyen la atmósfera. Fuente: Diferenciador. _____	13
<i>Ilustración 2</i> Curva de temperatura a través de la atmósfera. Fuente: GEOCITIES. _____	14
<i>Ilustración 3</i> Espectro electromagnético. Penetración y absorción de radiaciones por la atmósfera. Fuente: Experimentos científicos. _____	15
<i>Ilustración 4</i> Acción de la UE en materia de energía y cambio climático. Fuente: Tribunal de Cuentas Europeo, www.op.europa.eu . _____	16
<i>Ilustración 5</i> Absorción y pérdida de energía térmica en el mar. Fuente: Ministerio de Educación, ULL www.fjferrer.webs.ull.es _____	17
<i>Ilustración 6</i> Calentamiento global y tasa límite inferior a 2°C en el siglo. Fuente: El Orden Mundial. _____	19
<i>Ilustración 7</i> Tiempo en la Tierra. Fuente: ResearchGate. _____	20
<i>Ilustración 8</i> Línea temporal de eventos destacables en materia del planeta. Elaboración propia, basada en WWF. _____	21
<i>Ilustración 9</i> Certificados LEED vs BREEAM para edificios. Fuente: Seminario Ahorro, MINCOTUR, IDAE. _____	26
<i>Ilustración 10</i> Hoja de ruta por hitos de la estrategia ELP 2050. Fuente: GBCe. _____	28
<i>Ilustración 11</i> El ciclo de carbono en la edificación. Fuente: GBCe. _____	29
<i>Ilustración 12</i> Funcionamiento y estructura del PNACC. Fuente: pdf Programa de Trabajo 1 2021-2025. _____	29
<i>Ilustración 13</i> Esquema de actuaciones del PNACC 2006 en base al IPCC. Fuente: PNACC, MITECO. _____	30
<i>Ilustración 14</i> Objetivos del Paquete de energía limpia respecto a 1990. Fuente: SinerConsult. _____	32
<i>Ilustración 15</i> Tendencias a 2050 de objetivos de reducción emisiones GEI's. Fuente: La Vanguardia. _____	32
<i>Ilustración 16</i> Objetivos % para 2050 según la ELP. Fuente: ESMARTCITY.es. _____	33
<i>Ilustración 17</i> ODS de la Agenda 2030 y sus tendencias. Fuente: Pacto Mundial. _____	34
<i>Ilustración 18</i> Comparación de tarifas eléctricas en el mundo. Fuente: CNN. _____	35
<i>Ilustración 19</i> Cómo se calcula el coste de la energía eléctrica. Fuente: TotalEnergies. _____	36
<i>Ilustración 20</i> Emisiones de GEI's por sector en la UE 2019. Fuente: www.europarl.europa.eu . _____	36
<i>Ilustración 21</i> Emisiones de GEI's en la UE y el mundo. Fuente: European Union. _____	37
<i>Ilustración 22</i> Emisiones de GEI's en la UE 2019. Fuente: www.europarl.europa.eu . _____	38
<i>Ilustración 23</i> Países del mundo más contaminantes. Fuente: CNN. _____	39
<i>Ilustración 24</i> Clasificación de refrigerantes del RSIF 2019. Fuente: BOE RD 552/2019. _____	42
<i>Ilustración 25</i> Generaciones de refrigerantes. Fuente: ProInstalaciones. _____	43
<i>Ilustración 26</i> Carrier plantea la reducción de HFC para 2030. Fuente: Catálogo Aquaforce de Carrier. _____	43
<i>Ilustración 27</i> Emplazamiento del proyecto. Fuente: Portal web del Ayuntamiento de Madrid. Cartografía. _____	44
<i>Ilustración 28</i> Temperatura del calor disipado del sector terciario e industrial. Fuente: Carrier. _____	51
<i>Ilustración 29</i> Consumo eléctrico de un centro de datos en 2022. Fuente: Danfoss. _____	52
<i>Ilustración 30</i> La Industria 4.0 en relación con la eficiencia. Fuente: ComputerWorld. _____	54
<i>Ilustración 31</i> Smart cities para aprovechar el calor residual en la EU. Fuente: Fenercom, Carrier (Joaquín Fernández). _____	55
<i>Ilustración 32</i> Componentes de una caldera convencional. Fuente: UEM Asignatura Instalaciones industriales, J.A. Sedano. _____	57
<i>Ilustración 33</i> Factores de paso energía y emisiones. Fuente: HULC del CTE-HE-2019. _____	57
<i>Ilustración 34</i> PCI de fuentes energéticas conocidas. Fuente: IDAE. _____	59
<i>Ilustración 35</i> Analogía bomba elevadora de presión del agua con una batería eléctrica. Fuente: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/watcir.html _____	62
<i>Ilustración 36</i> Ciclo termodinámico de Carnot de la bomba de calor. Fuente: reader.digitalbooks.pro . _____	64

<i>Ilustración 37 Esquema de BdC+FV vs caldera en una universidad. Fuente: Frontiers.</i>	66
<i>Ilustración 38 Demanda del mercado de CPDs. Fuente: Curso de Atecyr.</i>	70
<i>Ilustración 39 Red eléctrica, alumbrado, equipos críticos y sala IT de un CPD. Fuente: IGM.</i>	71
<i>Ilustración 40 Definición de la métrica PUE por The Green Grid. Fuente: Curso Atecyr, Quark.</i>	75
<i>Ilustración 41 Pérdidas energéticas en un CPD para calcular PUE. Fuente: Curso Atecyr, Quark.</i>	76
<i>Ilustración 42 Equipos y tuberías de climatización en un CPD. Fuente: Upsite Technologies.</i>	78
<i>Ilustración 43 Sala IT, con sus racks, rejillas e instalaciones. Fuente: The Financial Express.</i>	79
<i>Ilustración 44 Alimentación desde el evaporador de las chillers hasta las CRAHs del CPD. Boceto elaborado en Word.</i>	80
<i>Ilustración 45 Esquema bomba de calor. Fuente: Eseficiencia.</i>	81
<i>Ilustración 46 Esquema de District heating. Fuente: Semantic Scholar.</i>	82
<i>Ilustración 47 Trazado de una red de tuberías urbana. Edición propia de imágenes de DocPlayer.</i>	84
<i>Ilustración 48 Justificación del retorno invertido en un sistema a dos tubos. Fuente: Issuu.</i>	85
<i>Ilustración 49 DH a nivel red. Fuente: IntechOpen.</i>	86
<i>Ilustración 50 DH a nivel usuario. Fuente: IntechOpen.</i>	86
<i>Ilustración 51 Comparación con la 5ª generación de DHC. Fuente: Ecovat.</i>	87
<i>Ilustración 52 Intercambiador de placas. Fuente: Arsopi-Thermal.</i>	88
<i>Ilustración 53 Subestación de intercambio en 3D. Fuente: Catálogo Sedical.</i>	89
<i>Ilustración 54 Vista en alzado y perfil de una subestación. Fuente: Catálogo Sedical.</i>	90
<i>Ilustración 55 Red a cuatro tubos con dos subestaciones de calor y frío a estancias. Fuente: District Energy St. Paul.</i>	91
<i>Ilustración 56 Sugerencia de instalación dentro de los edificios (subest. a grifos+fancoils). Fuente: YouTube José Ángel Lana.</i>	92
<i>Ilustración 57 Instalación actual convencional dentro de los edificios (caldera a grifos+radiadores). Fuente: Hydronik.</i>	92
<i>Ilustración 58 Temperaturas agua de fancoil para viviendas. Fuente: Manual Información técnica de JAGA.</i>	93
<i>Ilustración 59 Esquema visual del TFM. Edición propia sobre la fuente Ecoenergies Barcelona.</i>	94
<i>Ilustración 60 Funcionamiento de BCHT. Fuente: Interempresas.</i>	95
<i>Ilustración 61 Prestaciones de SCOP mínimo para zona climática D de BdC hidrotermia renovable. Fuente: Anexo I, IDAE.</i>	95
<i>Ilustración 62 Esquema básico del ciclo por absorción de simple efecto. Fuente: Carrier Sanyo.</i>	97
<i>Ilustración 63 Temperaturas exteriores que puede aguantar la chiller 19DV. Fuente: Manual técnico de Carrier.</i>	101
<i>Ilustración 64 Registros desde fin de año 1980 hasta el 11/01/2023. Fuente: AEMET, datosclima.es.</i>	101
<i>Ilustración 65 Mapa de irradiación solar H en España (Fuente: ADRASE)</i>	102
<i>Ilustración 66 Ubicación en el país. Google Maps.</i>	103
<i>Ilustración 67 Ubicación en la ciudad. Google Maps.</i>	103
<i>Ilustración 68 Ubicación de la calle y edificios próximos al CPD. Google Maps.</i>	104
<i>Ilustración 69 Agrupación de instalaciones que incluyen renovables. Fuente: BOE RD 413/2014.</i>	108
<i>Ilustración 70 Estadística en España de las DHC. Fuente: CarrierNow, COGITIM.</i>	109
<i>Ilustración 71 Calificación edificio calderas vs conectarse a una DHC. Fuente: Noticia 64 de la ADHAC.</i>	114
<i>Ilustración 72 Línea temporal esquemática de CTE y RITE en calidad de climatización y ventilación. Fuente: Twitter.</i>	117
<i>Ilustración 73 Eficiencia energética A-G en edificios. Fuente: Sustentable & Sostenible.</i>	118
<i>Ilustración 74 Cargas térmicas de edificios de viviendas del barrio Rejas. Elaboración propia en Excel.</i>	119
<i>Ilustración 75 Datos del edificio residencial en CERMA.</i>	120

<i>Ilustración 76 Cerramientos y huecos convencionales del edificio residencial en CERMA.</i>	121
<i>Ilustración 77 Esquema Principio de funcionamiento instalación convencional del edificio residencial. CERMA.</i>	121
<i>Ilustración 78 Resultados emisiones edificio residencial por caldera+AC. CERMA.</i>	122
<i>Ilustración 79 Resultados energía primaria fósil edificio residencial por caldera+AC. CERMA</i>	122
<i>Ilustración 80 Resultados curva de demanda calefacción anual del edificio residencial. CERMA.</i>	123
<i>Ilustración 81 Resultados curva de demanda refrigeración anual del edificio residencial. CERMA.</i>	124
<i>Ilustración 82 Perfil de barras demanda sensible mensual edificio residencial. CERMA.</i>	125
<i>Ilustración 83 Instalación de fotovoltaica en edificio residencial antiguo. CERMA.</i>	126
<i>Ilustración 84 Evidencia de optimización de edificio residencial antiguo con BdC+FV. CERMA.</i>	127
<i>Ilustración 85 Evidencia del ahorro en emisiones del edificio residencial con BdC+FV. CERMA.</i>	127
<i>Ilustración 86 Evidencia del ahorro en energía fósil del edificio residencial con BdC+FV. CERMA.</i>	128
<i>Ilustración 87 Calificación del archivo con caldera + AC para edificio de viviendas. CERMA.</i>	129
<i>Ilustración 88 Calificación del archivo con mejora de BdC + FV para edificio de viviendas. CERMA.</i>	130
<i>Ilustración 89 Cargas térmicas de edificios de oficinas del barrio Rejas. Elaboración propia en Excel.</i>	131
<i>Ilustración 90 Datos del edificio de oficinas en CE3X.</i>	131
<i>Ilustración 91 Resultados globales de las emisiones del edificio de oficinas. CE3X.</i>	133
<i>Ilustración 92 Certificación archivo con ahorros energéticos en edificio de oficinas.</i>	134
<i>Ilustración 93 Comparación certificada bomba de calor y caldera en edificio de oficinas.</i>	135
<i>Ilustración 94 Total cargas térmicas de este TFM. Elaboración propia en Excel.</i>	136
<i>Ilustración 95 Enumeración de los edificios certificados en este TFM. Google Maps y edición propia con Word.</i>	136
<i>Ilustración 96 Tabla C.5. Fuente: Anejo C. Prontuario de pesos y coeficientes de rozamiento interno, CTE-DB-AE.</i>	137
<i>Ilustración 97 Cubierta del Global Switch de Rejas. Fuente: Google Maps.</i>	138
<i>Ilustración 98 Peso total de las máquinas presupuestadas en este proyecto. Elaboración propia en Excel.</i>	139
<i>Ilustración 99 Justificación del peso en cubierta por maquinaria. Elaboración propia en Excel.</i>	139
<i>Ilustración 100 Edificio del CPD. Fuente: Google Maps 2022.</i>	141
<i>Ilustración 101 Superficie medida de inclinación 15º. Fuente: Google Maps.</i>	141
<i>Ilustración 102 Módulos FV sobre cubierta del CPD. Fuente: Else Consultores.</i>	143
<i>Ilustración 103 Intensidades admisibles para cables con los conductores de cobre que figuran. Fuente: REBT.</i>	153
<i>Ilustración 104 Producción anual de energía FV por cada kW instalado. Fuente: PVGIS.</i>	154
<i>Ilustración 105 Torre de tiro mecánico (con ventilador) inducido (contracorriente el aire). Fuente: Quora.</i>	158
<i>Ilustración 106 Diagrama psicrométrico de torre de refrigeración. Fuente: UEM, asignatura Instalaciones industriales.</i>	159
<i>Ilustración 107 Capacidades de la máquina de absorción. Fuente: Catálogo de Carrier Sanyo.</i>	160
<i>Ilustración 108 Ecuación de Bernoulli. Fuente: Scribd.</i>	161
<i>Ilustración 109 Datos de propiedades físicas del agua en DC. Fuente: Monografías.com.</i>	163
<i>Ilustración 110 Rugosidad. Fuente: Anexo I del Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización, Biblus</i>	164
<i>Ilustración 111 Ábaco de Moody. Fuente: Anexo I del Manual diseño de red hidráulica de climatización, Biblus.</i>	165
<i>Ilustración 112 Diámetros nominales de tubería de acero según UNE. Fuente: Ingenieros Consultores S.L. Solarweb.</i>	166
<i>Ilustración 113 Cálculo de la bomba principal de red district cooling ida+retorno. Elaboración propia en Excel.</i>	167

<i>Ilustración 114 Cálculo de la pérdida de carga en las demás bombas circuladoras. Elaboración propia en Excel.</i>	167
<i>Ilustración 115 Red de tuberías de calor y frío con retorno invertido (DH&C). Elaboración propia.</i>	168
<i>Ilustración 116 Cálculo del acumulador de inercia. Fuente: Industrias Ibaiondo S.A.</i>	169
<i>Ilustración 117 Válvula de seguridad. Elaboración propia en AutoCAD.</i>	171
<i>Ilustración 118 Datos introducidos a Sedical sobre la red DHC con rellenado automático y bomba. Fuente: Software Sedical.</i>	172
<i>Ilustración 119 Cronograma de ejecución, Septiembre 2022-Febrero 2024. Elaboración propia en Excel.</i>	174
<i>Ilustración 120 Diagrama de Gantt automático del proyecto. Elaboración propia en Excel.</i>	174
<i>Ilustración 121 Gasto anual en calefacción de la caldera. Elaboración propia en Excel.</i>	178
<i>Ilustración 122 Gasto anual en calefacción de la subestación de red DHC. Elaboración propia en Excel.</i>	179
<i>Ilustración 123 Gasto anual en refrigeración del AC. Elaboración propia en Excel.</i>	179
<i>Ilustración 124 Gasto anual en refrigeración de la subestación de red DHC. Elaboración propia en Excel.</i>	180
<i>Ilustración 125 Conclusión de ahorro total que supone sistema propuesto frente al actual. Elaboración propia en Excel.</i>	180
<i>Ilustración 126 Ahorro que supone la FV para las máquinas de la red DHC. Elaboración propia en Excel.</i>	181
<i>Ilustración 127 Ahorro anual del sistema DHC con FV renovable frente al actual. Elaboración propia en Excel.</i>	181
<i>Ilustración 128 Inversión de presupuesto y datos para el flujo de caja. Elaboración propia en Excel.</i>	181
<i>Ilustración 129 Flujo de caja hasta el año de amortización, con un TIR de 12%. Elaboración propia en Excel.</i>	182
<i>Ilustración 130 Retornos de caja obtenidos por el sistema de red DHC propuesto. Elaboración propia en Excel.</i>	183
<i>Ilustración 131 Sistema de calificación energética A-G en edificios. Fuente: a04arquitectos.com.</i>	184
<i>Ilustración 132 Ahorro en emisiones equivalentes de CO2. Elaboración propia en Excel.</i>	186
<i>Ilustración 133 Letras de calificación energética aplicadas al resultado del TFM. Fuente: Rangos de CERMA.</i>	188
<i>Ilustración 134 Plano de caudales y diámetros nominales de la red DHC, al contorno de edificios. AutoCAD.</i>	193
<i>Ilustración 135 Plano Esquema de la sala de máquinas del proyecto (vista oeste). AutoCAD.</i>	194
<i>Ilustración 136 Plano de la instalación fotovoltaica sobre la nave del CPD y sobre la Sala de máquinas. Google Maps y AutoCAD.</i>	195
<i>Ilustración 137 Plano de la red DHC desde el CPD a subestaciones, controlada por PLC. AutoCAD.</i>	196
<i>Ilustración 138 Resumen del presupuesto a modo de leyenda del plano de red DHC. AutoCAD.</i>	197
<i>Ilustración 139 Leyenda de la simbología del plano de la red DHC. AutoCAD.</i>	198
<i>Ilustración 140 Esquema de la subestación de intercambio Sedical y de su control. AutoCAD.</i>	198
<i>Ilustración 141 Chiller agua-agua 19DVG42, de Carrier.</i>	199
<i>Ilustración 142 BCHT 61XWH-14ZE, de Carrier.</i>	200
<i>Ilustración 143 Enfriadora de absorción de simple efecto y calentamiento del generador por agua caliente, de Carrier.</i>	201
<i>Ilustración 144 Torre de refrigeración 1800/09, de EWK.</i>	202
<i>Ilustración 145 Depósito de expansión de 4000 L con bomba, para la red DHC, de Sedical.</i>	203
<i>Ilustración 146 Depósito de 140 L entre chiller y BCHT, de Sedical.</i>	204
<i>Ilustración 147 Módulos FV, de Trina Solar - Vertex.</i>	205
<i>Ilustración 148 Inversor de 300 kW para instalación FV sobre la nave industrial anexa al CPD, de Zigor.</i>	206
<i>Ilustración 149 Inversores de 20 y 50 kW para la instalación FV sobre la sala de máquinas, de Zigor.</i>	207
<i>Ilustración 150 OLDRUAM. Fuente: Información jurídica https://transparencia.madrid.es</i>	209
<i>Ilustración 151 Documentación para instalaciones frigoríficas. Sede electrónica de Canarias, como referencia.</i>	212
<i>Ilustración 152 Presupuesto hoja 1. Elaboración propia en Excel.</i>	232

<i>Ilustración 153 Presupuesto hoja 2. Elaboración propia en Excel.</i>	233
<i>Ilustración 154 Presupuesto hoja 3. Elaboración propia en Excel.</i>	234
<i>Ilustración 155 Presupuesto hoja 4. Elaboración propia en Excel.</i>	235
<i>Ilustración 156 Presupuesto hoja 5. Elaboración propia en Excel.</i>	236
<i>Ilustración 157 Presupuesto hoja 6. Elaboración propia en Excel.</i>	237
<i>Ilustración 158 Presupuesto hoja 7. Elaboración propia en Excel.</i>	238
<i>Ilustración 159 Presupuesto hoja 8. Elaboración propia en Excel.</i>	239
<i>Ilustración 160 Presupuesto hoja 9. Elaboración propia en Excel.</i>	240
<i>Ilustración 161 Presupuesto hoja 10. Elaboración propia en Excel.</i>	241
<i>Ilustración 162 Factores de riesgo. Fuente: CÓDIGO TÉCNICO DE PREVENCIÓN EN OBRA CIVIL, DB-PRL-MT 3.</i>	245

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Calificación energética del resultado comparativo, basada en el programa CERMA. Elaboración propia.</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 2 Refrigerantes con sus características según el RSIF. Elaboración propia.</i>	<i>244</i>

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se introduce la visión global del problema del incremento de la tasa de calentamiento global y se define la intención del proyecto planteando los objetivos que persigue.

1.1 ANTECEDENTES

Se está intentado por varias técnicas reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, pero no siempre queda del todo claro. Para una mejor explicación, se ha ordenado este apartado en cinco secciones: Efecto invernadero, Impacto del uso de refrigerantes, Cambio climático, Transición energética y Producción de energía.

1.1.1 EFECTO INVERNADERO

La ciencia detrás del fenómeno que estamos viviendo hoy más que nunca se remonta a la [Ley de Planck](#), y a la teoría de Svante [Arrhenius](#) y Thomas Chrowder [Chamberlin](#).

- La [Ley de Planck](#) dio una base científica al calentamiento global mediante el estudio de ondas electromagnéticas.

La distribución energética de dichas ondas constituye el espectro electromagnético, del cual se destacan tres radiaciones fundamentales: ultravioleta UV (UVA, UVB, UVC), visible e infrarrojos.

UV:

- Las radiaciones UV emitida por el Sol son muy dañinas para los seres vivos, pero poco penetrante en la Tierra comparada con la luz visible (gracias a la absorción por la capa de ozono). En la ilustración 1, se muestra dónde se sitúa la capa de ozono (a 20-40 km de altitud), dependiendo de si se habla en términos químicos, físicos o funcionales.

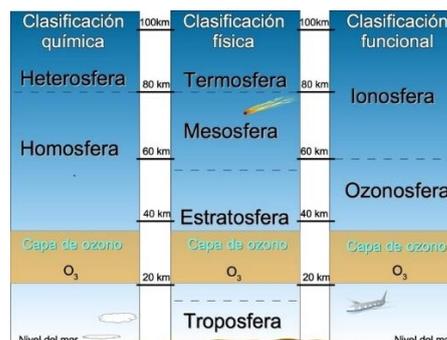


Ilustración 1 Capas que constituyen la atmósfera. Fuente: Diferenciador.

En la ilustración 2, se muestra la curva de temperatura a través de las capas de la atmósfera, en un esquema que no difiere por terminología química, física ni funcional, sino que lo plantea en general.

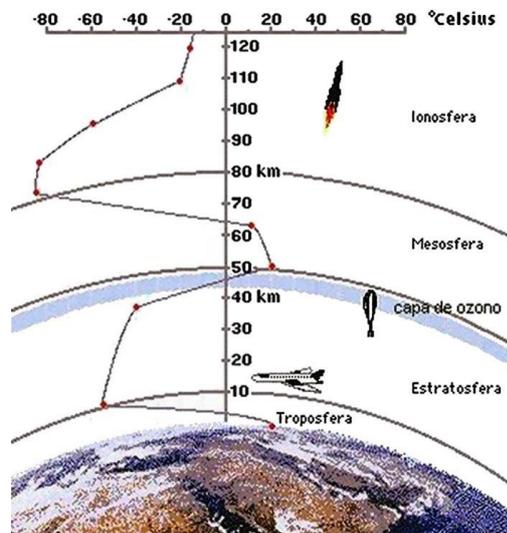


Ilustración 2 Curva de temperatura a través de la atmósfera. Fuente: GEOCITIES.

Citando a Xavier Giménez Font en 2013 para la web Conciencia Eco, “la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global no se influyen y están sujetos a malentendidos populares”. [1]

Cabe destacar que esta capa de ozono no está destruyéndose literalmente, no tiene un agujero per se; lo que sí tiene es una región con una considerable menor proporción en ozono cada año, en especial en el Ártico de la Tierra y sobre todo entre los meses de septiembre a noviembre, pero no desaparece del todo aún gracias a la influencia socioeconómico y ambiental las Cumbres del Clima y sus acuerdos de Montreal (1987), Kyoto (1997) y París (2015).

Y es que según la Ley de Planck (véase la ilustración 3), la energía cuántica por fotón medida en electrón-voltios [eV], es directamente proporcional a la frecuencia de radiación en [Hz]. Entonces, a mayor frecuencia, mayor energía, mayor temperatura, mayor intensidad, y menor longitud de onda.

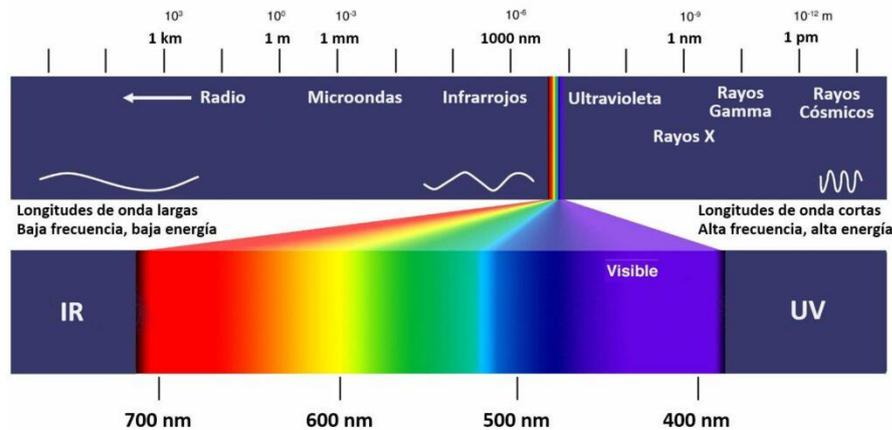


Ilustración 3 Espectro electromagnético. Penetración y absorción de radiaciones por la atmósfera. Fuente: Experimentos científicos.

Infrarrojos:

- La radiación infrarroja es emitida desde la Tierra por actividades industriales y urbanas, -entre otras (como los medios de transporte) que se sirvan de combustibles fósiles (es decir, de otra era geológica prehistórica)-, la cual al quedar atrapada, produce de manera acumulativa el calentamiento global y aleatoriamente el cambio climático en función de las zonas geográficas y su pertenencia a los trópicos, hemisferios, e influyendo las estaciones del año, etc.

Luz visible:

- Finalmente, el Sol emite una radiación visible -mayoritariamente- a la Tierra, pero decide bifurcarse y entonces una parte de esa energía queda absorbida por la Tierra pero la otra parte menos intensa es devuelta a la atmósfera en forma de radiación calorífica (es decir, está emitiendo gran cantidad aunque de baja energía), convirtiendo al planeta en una estufa de épicas dimensiones. El resultado es una lluvia en sentido inverso hacia la atmósfera que no logra escapar al espacio, y va ocupando de gases coloquialmente denominados "de efecto invernadero" pero deberían llamarse gases de contaminación paulatina (CH₄, CO₂, NO_x, SO_x, etc.) donde antes solo había vapor de agua y la cantidad necesaria para vivir de CO₂, la atmósfera y todas las capas inferiores, obteniendo calentamiento global del planeta. Aunque siga haciendo su trabajo de absorber algunas emisiones gaseosas (por la energía calorífica) y radiación infrarroja,

ni la capa de ozono ni la atmósfera pueden contra toda la cantidad que les llega. (Véase la ilustración 4.)

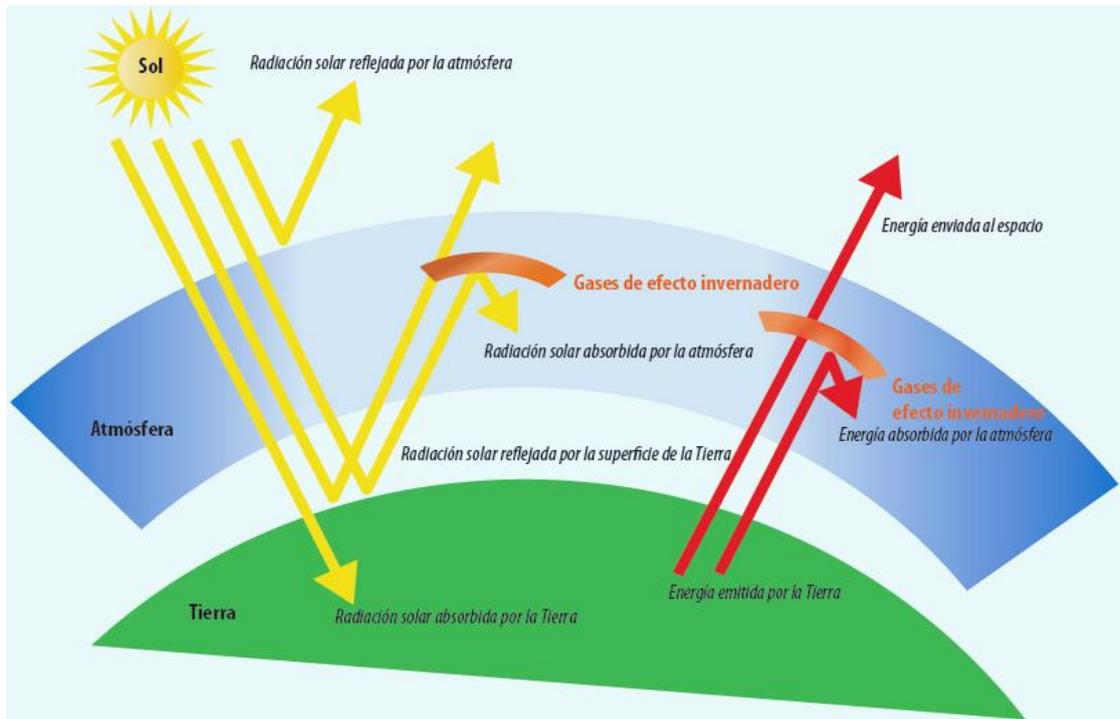


Ilustración 4 Acción de la UE en materia de energía y cambio climático. Fuente: Tribunal de Cuentas Europeo, www.op.europa.eu.

A modo de curiosidad, existe un término denominado “balance energético global” o “equilibrio térmico de la Tierra”, el cual esencialmente sugiere que toda la radiación visible recibida del Sol, si está a temperatura constante, debería salir a la misma temperatura hacia el espacio. La realidad es que parte de esa radiación se retiene y absorbe por según qué capas de la atmósfera, otra parte incide directamente sobre la corteza (o de otro modo, litosfera) oceánica y continental, y la otra parte apenas se logra reflejar de regreso al espacio. [2]

Análogamente con la atmósfera, hay otras Leyes científicas y matemáticas que demuestran lo mismo para los océanos (véase la ilustración 5), ya que la radiación solar impacta en la superficie del agua, se bifurca también, y una parte se absorbe pero la otra es dispersada por el medio acuático (según la **Ley exponencial de Lambert-Beer** de atenuación de la luz, y la **Ley de Snell** sobre el cambio de ángulo).

En investigaciones de 1950, se logró demostrar que los océanos no retienen todo el CO₂ antropogénico (generado por actividad humana), sino un 30%; y que la vida media del CO₂ en la atmósfera dura 10 años. [3]

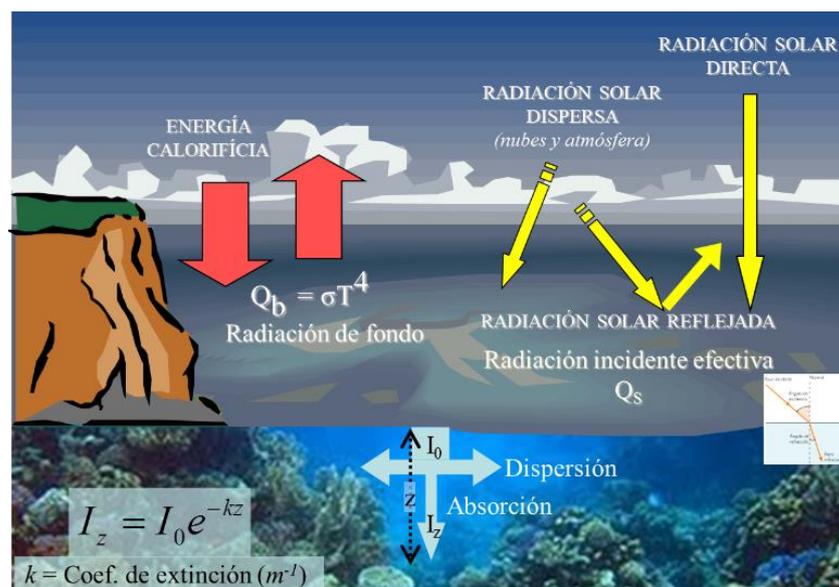


Ilustración 5 Absorción y pérdida de energía térmica en el mar. Fuente: Ministerio de Educación, ULL www.ffferrer.webs.ull.es

- Por otra parte, está la Teoría de [Arrhenius](#) y [Chamberlin](#), la cual dio respuestas válidas hasta el siglo XXI.

Svante Arrhenius (1859-1927) fue un científico sueco que hizo la **previsión en 1896 de que los combustibles fósiles provocan y aceleran el calentamiento global de la Tierra**, y llegó a esta conclusión mediante un estudio de las condiciones de contorno base: el efecto invernadero. Así pudo relacionar las concentraciones de CO₂ atmosférico con la temperatura en la capa de atmósfera y determinando que: la atmósfera está a 15°C en promedio, y se debe a la capacidad de absorción de la radiación infrarroja que hace del vapor de agua y el CO₂. Entonces, con lo estudiado tras la segunda Revolución Industrial de 1870 pudo afirmar que **“una concentración doble de gases de CO₂ provocaría un aumento de temperatura de 5°C”**. Juntos él y Chamberlin, mientras estaban investigando si existía relación entre el CO₂ y el deshielo en la Tierra, calcularon que las actividades humanas son las principales fuentes que harán ese aumento de temperatura posible, una de las causas del calentamiento global. Esta hipótesis se terminó verificando en 1987. [4]

Han existido numerosos malentendidos desde entonces, por ejemplo: que los océanos (véase la ilustración anterior) al ser en efecto capaces de absorber la radiación solar, que también son grandes sumideros del 100% del carbono, compensando gratuitamente la contaminación ejercida por el ser humano; y el récord de los malentendidos ha sido la creencia (aún a día de hoy increíblemente) de que el vapor de agua al ser un “gas” de efecto invernadero tiene gran influencia en la contaminación -pero sí se sabe que esto se cree porque en conferencias públicas y en los medios de comunicación se suele poner imágenes de torres de refrigeración de las centrales nucleares y la gente siempre ha pensado que ese vapor de agua es humo porque lo asocian a las chimeneas que provienen de las calderas de carbón que han tenido en sus casas-.

1.1.2 IMPACTO DEL USO DE REFRIGERANTES

Los fenómenos explicados de calentamiento global y “destrucción” de la capa de ozono, **tienen una base física diferente, y no tienen influencia directa entre sí**, ya que la **capa de ozono** no tiene una concentración homogénea en su composición de O₃ y las mitigaciones de ozono dependen de la circulación de los vientos y de las temperaturas extremas de los mismos, entre otros parámetros y factores más extensos y complejos; mientras que el **calentamiento global** se produce por acumulación de muchos gases emitidos a gran longitud de onda pero baja energía que saturan la capacidad de absorción de la capa de ozono y van sobrecalentando las capas inferiores hasta afectar a los ecosistemas. Por ello es necesario evaluar el potencial impacto que tienen los refrigerantes (Capítulo 10) en base al agotamiento de la capa de ozono (PAO) y al calentamiento atmosférico (PCA). [1]

1.1.3 CAMBIO CLIMÁTICO

Hay miles de científicos que han podido demostrar las consecuencias del consumo excesivo de fuentes energéticas y recursos limitados.

La clave para entender los efectos asociados al planeta Tierra, es relacionar dónde y entre cuáles existe influencia directa o indirecta.

Cambio en la temperatura media global anual con respecto al periodo 1850-1900

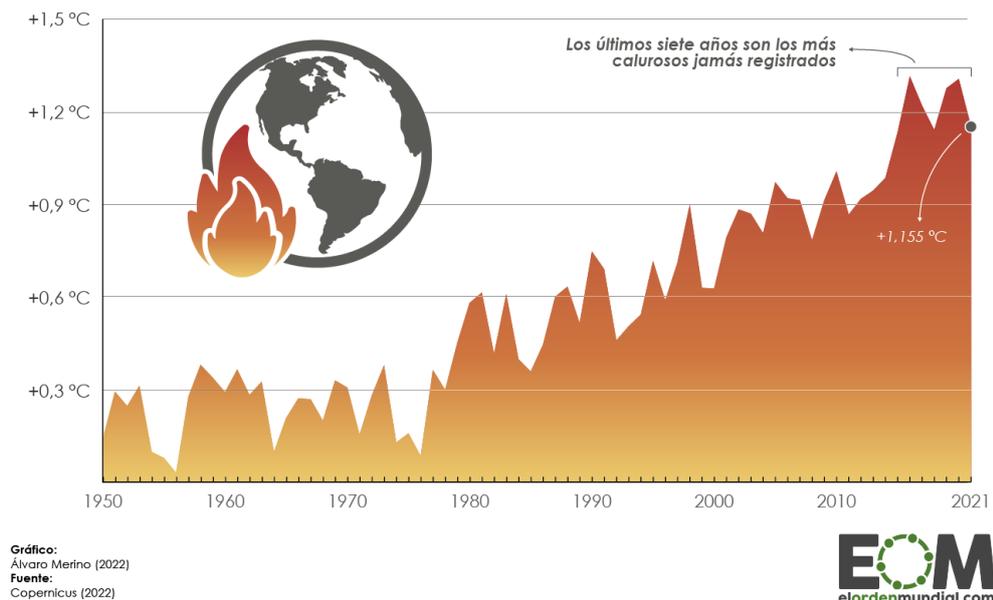


Ilustración 6 Calentamiento global y tasa límite inferior a 2°C en el siglo. Fuente: El Orden Mundial.

En la ilustración 6, se observa el incremento en la tasa por siglos de temperatura, y se ha establecido -por organismos como el IPCC e informes de la Comisión Europea- el umbral en 1,5°C, porque de alcanzar los 2°C, supondrá el punto de no retorno para la vida en la Tierra.

Entre 1950 y 1970, Charles Keeling (1928-2005) utilizó la tecnología disponible para producir curvas de concentración de CO₂ atmosférico, que dieron señales de una tendencia en la disminución de temperatura desde 1940, y que en base a investigaciones de los sedimentos oceánicos la Tierra ya había experimentado 32 ciclos de frío y calor en los últimos 2.500.000 de años (correspondiente a la Era Cenozoica -posterior al Cretácico de la Era Mesozoica-, en el Pleistoceno, véase la ilustración 7), en vez de 4 ciclos como se había creído hasta 1960, y por eso se predijo que habría una edad de hielo más, un enfriamiento global. [4]

Nota: De la ilustración 7, ha sido muy interesante descubrir cuándo se formaron los Alpes y los Pirineos.

Era	Período	Épocas	Edad (millones de años)	Principales Eventos
Cenozoico	Cuaternario*	Holoceno	0,0117	Final de la Era de Hielo y surgimiento de la civilización actual.
		Pleistoceno	1,806 2,588	Ciclos de glaciaciones. Extinción de megafauna. Evolución de los humanos Modernos.
	Neógeno	Plioceno	5,33	Formación del istmo de Panamá. Mantos de hielo en Groenlandia y el Ártico. Clima similar al actual
		Mioceno	23,03	Deseacación del Mediterráneo. Reglaciación de la Antártida.
	Paleógeno	Oligoceno	33,9	Origen de los Alpes, Pirineos e Himalaya. Formación de la Corriente Circunpolar Antártica. Congelación de la Antártida. Familias modernas de animales y plantas.
		Eoceno	55,8	Extinción masiva hacia el final. India colisiona con Asia. Máximo térmico del Paleoceno-Eoceno. Disminuye la concentración de CO ₂ .
		Paleoceno	65,5	Continentes con aspecto actual. Clima cálido y húmedo unificado. Diversificación de animales y plantas.

Ilustración 7 Tiempo en la Tierra. Fuente: ResearchGate.

No obstante, a partir de 1980 los registros de la curva de la temperatura media global comenzaron a reflejar un aumento pero hasta tal punto que cambiaron la teoría de la edad de hielo por una edad del calor; un calentamiento global se desarrolló (y así ganó fama Stephen Schneider, quien predijo este efecto en 1976).

Como se reforzó esta teoría, en 1988 el Programa medioambiental de las Naciones Unidas y la Organización Mundial Meteorológica formó el IPCC (Panel Intergubernamental sobre el cambio climático) para predecir el impacto de los gases de efecto invernadero (GEI's), en base a modelos sobre el clima e información bibliográfica. El Panel IPCC es el grupo de cooperación científica pionero más grande de la Historia ya que, de hecho, está compuesto por expertos técnicos e investigadores científicos en climatología, ecología, economía, oceanografía y medicina de más de 60 países de todo el mundo.

Los 10 años más cálidos han sido destacados desde 1990. [4]

Naturalmente, siempre hubo escépticos del trabajo de los miembros del IPCC, que dudaron de si eran rigurosos en sus registros y estadísticas, y si estaban considerando todos los datos relevantes. Por esa razón, desde los años 2000 surgieron nuevos proyectos de investigación para contribuir a la garantía de esa información para no depender sólo de un organismo. [4]

Lo que está claro es que el calentamiento global y el cambio climático son conceptos (y no simples teorías) con variaciones clave difíciles de estudiar y seguir por cada país de forma individual, además de que -como indican sus nombres- son problemas globales, de todo el Globo o planeta.

A continuación, en la ilustración 8, se muestra una evolución de los eventos fundamentales que tratan de hacer posible no solo la concienciación mundial, sino las medidas predictivas, preventivas y correctivas acordadas o establecidas. [5]



Ilustración 8 Línea temporal de eventos destacables en materia del planeta. Elaboración propia, basada en WWF.

El Protocolo de Montreal, según Nelson A. Sabogal en la Revista de Relaciones Internacionales nº 14, “fue ratificado (validado) por 165 países. Logró disminuir la producción y consumo de algunas de las sustancias que destruyen el ozono, y reducir la tasa de crecimiento de la concentración atmosférica de varias de esas sustancias.” [6]

Ha habido cuatro versiones de la Cumbre de la Tierra: Río (1992), Johannesburgo (2002), Río (2012) y París (2015); pero todas han introducido el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París, en relación a los ecosistemas y el desarrollo sostenible. [5]

El Protocolo de Kyoto de 1997 tardó mucho en ratificarse, con lo cual no entró en vigor de forma oficial hasta 2005. El motivo fue que lanzó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, por la cual todos aquellos países desarrollados e industrializados debían ir informando periódicamente de las políticas y medidas que estaban tomando para mitigar sus emisiones contaminantes. Según la United Nations for Climate Change (UNFCC): “En su Anexo B, el Protocolo de Kyoto establece objetivos vinculantes de reducción de las emisiones para 36 países industrializados y la Unión Europea. En conjunto, esos objetivos suponen una reducción media de las emisiones del 5 % en comparación con los niveles de 1990 en el quinquenio **2008-2012 (el primer período de compromiso).**” [8]

Habiendo ejercido un poco de presión social, se llegó al Acuerdo de Copenhague en 2009, el considerado primer documento que firmaron todos los países más contaminantes, lo cual dio a entender que sí creían en el cambio climático como un problema global. [7]

La cumbre del clima de Varsovia de 2013 determinó que sería beneficiosa la plantación de nuevos árboles para incrementar los “auxilios climáticos” de los países industrializados. [5]

El Acuerdo de París (COP21) de 2015 estableció que había que servirse de un marco tecnológico con el que evitar que la tasa de incremento de la temperatura media global del planeta supere los **2°C respecto a los niveles preindustriales (con la segunda Revolución Industrial, 1870-1914)** y busca, además, promover esfuerzos adicionales con ayuda de **nuevas tecnologías** que hagan posible que el **calentamiento global no supere los 1,5°C**. [9]

La COP25 (versión 25 de la Conferencia de las Partes COP) o cumbre de la ambición liderada por Chile de 2019 logró reunir a 200 representantes de países en Madrid para pedirles un aumento de ambición climática de los compromisos de lucha contra el calentamiento global, es decir, esperaba recordar y reforzar el Acuerdo de París más con vistas a 2020. Según la BBC News Mundo, “el problema de esta cumbre fue que no consiguió concretar en un apartado la cuestión de la regulación de los mercados de carbono, porque no quedaron convencidos los países firmantes en un compromiso común” [5].

La COP26 o pacto climático de Glasgow (en colaboración con Italia) de 2021 fue ratificado por 196 países, instando a los países desarrollados que firmaron a reducir sus emisiones un 45%, con respecto a los niveles de 2010, en 2030 y alcanzar unas emisiones netas nulas en 2050. Pretende pasar de una **ambición** climática a una **aceleración** en la lucha contra el cambio climático, lo cual implica que los países deberán revisar e **incrementar la magnitud de sus objetivos % del Paquete de energía limpia a 2030, en línea con el Acuerdo de París** y la COP25, antes de finalizar 2022; pero también motiva a **las empresas privadas a que participen** en el Balance Global de 2030 con sus decisiones basadas en las normativas climáticas vigentes (que menciona en parte la ERESEE), y señala la Declaración China-EE.UU. para que reduzcan sus emisiones también, y apuesten por vehículos eléctricos y **por tecnologías para capturar CO₂ de la atmósfera**. [5]

Nota: A modo de curiosidad, Greta Thunberg es una activista sueca, declarada a favor de esta COP25.

La COP27 celebrada en Egipto en 2022 ha logrado reunir a más de 40.000 participantes, para incentivar:

- la nueva era geopolítica consistente en el enfoque en la comprensión de los problemas energéticos actuales y el acercamiento de las soluciones actualizadas (para reducir en importancia las tensiones por la guerra de Rusia y Ucrania, y redirigir los esfuerzos al problema climático).
- La Agenda de Bridgetown, una esperanza para un sistema financiero internacional justo adecuado a fechas concretas y objetivos marcados alcanzables.
- Previsiones de París como punto de acogida de la próxima cumbre del clima de junio de 2023 para reforzar esta COP27 y aportar una estructura más firme al sistema financiero.
- “Acabar con el **lavado verde** de cerebro o greenwashing”, que lo que significa es que las empresas privadas deberán **demostrar y justificar**, ya sea referenciando las nuevas normas de las Naciones Unidas y/o que garanticen con cálculos técnicos que **efectivamente están reduciendo de forma notable las emisiones** para evitar la palabrería.
- “Las energías renovables son en 2022 más baratas que las fuentes fósiles en dos tercios del mundo. La inversión en la transición ha aumentado un 25% hasta superar los 708 000 millones de dólares este año a pesar de la crisis económica, incluyendo un impulso masivo al transporte eléctrico.” – Fernando Valladares, Museo Nacional de Ciencias Naturales, El Diario Quo.
- Para acelerar la transición ecológica o energética justa, se cerraron varios acuerdos con miles de millones de dólares para ir eliminando gradualmente la industria del carbón, por el bien mundial.
- Se celebra en Montreal el Convenio sobre la Biodiversidad para corregir algunos errores de la COP27 y proteger a la naturaleza mientras continúe el cambio climático.
- Existen riesgos de litigio entre los gobiernos y las empresas que no cumplen con el Acuerdo de París, con cargos fiscales de objetivos climáticos ineficientes o poco ambiciosos (insuficientes).
Estos casos demuestran definitivamente que **la acción climática se ha convertido por las Cumbres del Clima y los Acuerdos en un deber legal global, no en una opción voluntaria individual.** [10]

Lo único que no se sacó en claro de la COP27 fue la ausencia de metodología concreta de las medidas para cumplir los objetivos impuestos. Se conoce el qué, pero no el cómo, o por lo menos, se está trabajando en el cómo.

Cada año hay fuertes sequías en EE.UU., olas de calor y de frío en Europa, sismos e inundaciones en Pakistán, Nigeria y Australia, y más recientemente la tormenta polar Elliot en EE.UU. [11]

1.1.4 TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Las esperanzas están depositadas en guías de recomendaciones ordenadas paso a paso que indiquen diversas maneras de alcanzar los objetivos nacionales de la transición energética internacional a 2030 y a 2050.

A raíz de lo descrito anteriormente sobre la ambición y aceleración climática, se creó la **Ley del Clima**, una **Ley 7/2021** el 20 de mayo de 2021, de **cambio climático y transición energética publicada en el BOE**, la cual reafirma y establece los objetivos mínimos nacionales del Paquete de energía limpia en cuanto a la reducción de emisiones de GEI's en España y en el resto de la UE con vistas a 2030 y 2050. [12]

Dichos objetivos son, para España:

- Emisiones reducidas en **2030** en, al menos, **un 23 % respecto al año 1990**.
- Alcanzar la neutralidad climática como fecha límite en 2050.

Y el objetivo para la UE:

- El Consejo Europeo estableció el 11 de diciembre de 2020 el objetivo de reducción de emisiones en la **UE a 2030** en, al menos, **un 55% respecto a los niveles de 1990, en lugar del inicial del 40%**.
- También alcanzar la neutralidad climática en **2050**, por la Comunicación de la Unión Europea relativa al **Pacto Verde Europeo** («The European **Green Deal**», del cual hay libros de título The Green New Deal o en la misma línea), de diciembre de 2019.

A rasgos globales, se cita de la publicación de la Ley 7/2021 en el BOE que *“las **actividades humanas** son ya las responsables de un aumento de las temperaturas globales de aproximadamente 1°C sobre el nivel preindustrial lo que indica que al ritmo actual **el aumento de 1,5 °C se alcanzará entre 2030 y 2052**, por mucho que el límite irreversible sea 2°C. En el caso de **España**, este aumento de la temperatura es **superior a la media en casi 0,5°C.**”* [12]

Esta Ley guarda relación con el PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima) y la ERESEE (Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España) en el siguiente párrafo citado:

*“En un plazo inferior a seis meses desde la entrada en vigor de la ley, se elaborará un **Plan de Rehabilitación de Viviendas y Renovación urbana** con el objetivo de mejorar el parque edificado, independientemente de su titularidad, a efectos de cumplimentar los **indicadores de eficiencia energética establecidos en el PNIEC 2021** y garantizar la integración de dichas actuaciones con el resto de los **objetivos de mejora establecidos en la Agenda Urbana Española**. Este Plan deberá **seguir los criterios y objetivos recogidos en ERESEE 2020.**”* – según la página web activatie.org. [12]

La ERESEE (que ha tenido versiones anteriores de 2014 y 2017), en su actualización de junio de 2020, detalladamente describe en un documento pdf de 376 páginas y verificado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), lo que resume en su primera página:

“Cada estado miembro establecerá una estrategia a largo plazo para apoyar la renovación de sus parques nacionales de edificios residenciales y no residenciales, tanto públicos como privados, transformándolos en parques inmobiliarios con alta eficiencia energética y descarbonizados antes de 2050, facilitando la transformación económicamente rentable de los edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nulo.” [13]

A modo de curiosidad, dichos edificios de consumo energético casi nulo siguen la filosofía Passivhaus y se suelen llamar en manuales internacionales N-ZEB (nearly zero energy buildings).

Es decir, España arenga a los actualmente 27 estados miembros de la Unión Europea con el propósito de obtener como resultado una Europa limpia y eficiente para 2050. Recoge múltiples Directivas sobre la eficiencia energética en las reformas de edificios (con aislamiento térmico y acústico optimizados) que minimizarán la demanda energética de los edificios y por tanto las necesidades de consumo por las instalaciones a aplicarles.

La ERESEE, en relación con el Acuerdo de París de 2015, afirma que éste *“impulsa los esfuerzos de la Unión Europea para descarbonizar su parque inmobiliario. Teniendo en cuenta que casi el 50% del **consumo de energía final** de la Unión se destina a **calefacción y refrigeración**, de la cual el 80% se consume en edificios, la consecución de los **objetivos** de la UE en materia de energía y cambio climático está relacionada con los **esfuerzos** de la UE **para renovar su parque inmobiliario priorizando la eficiencia energética y estudiando el despliegue de las energías renovables.**”*

Cabe destacar que, según el MITMA: “La Comisión Europea también ha realizado un Informe Preliminar de las Estrategias de 13 Países Miembros en el que se analiza la ERESEE 2020 española. La **ERESEE 2020** ha sido evaluada por el BPIE Buildings Performance Institute Europe como **la mejor de las estrategias nacionales presentadas a la UE en cumplimiento del mandato de la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios.**” [13]

Presentación de los principales certificados internacionales

Principales categorías de puntuación de algunos de los sistemas

LEED

- ❖ Localización sostenible
- ❖ Eficiencia en el uso del agua
- ❖ Energía y atmósfera
- ❖ Materiales y recursos
- ❖ Calidad del aire interior
- ❖ Innovación

BREEAM

- ❖ Gestión
- ❖ Salud y bienestar
- ❖ Energía
- ❖ Transporte
- ❖ Agua
- ❖ Materiales
- ❖ Residuos
- ❖ Utilización del entorno y ecología
- ❖ Polución
- ❖ Innovación

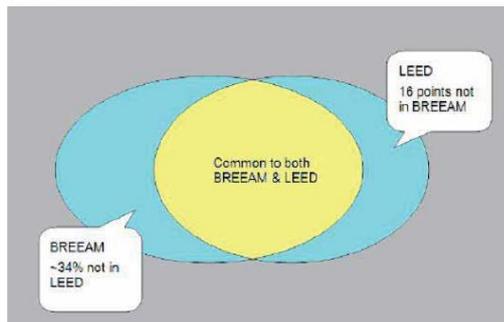


Ilustración 9 Certificados LEED vs BREEAM para edificios. Fuente: Seminario Ahorro, MINCOTUR, IDAE.

En la ilustración 9, se definen las diferencias entre los dos certificados energéticos para edificios más prestigiosos del mundo, los cuales acreditan su comprobado cumplimiento, mediante softwares oficiales, con las mínimas emisiones contaminantes posibles y el mínimo consumo energético.

Ellos son el LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) y el BRE internacional, en concreto su aplicación en España denominada BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) como el “método de evaluación y certificación de la sostenibilidad en la edificación técnicamente más avanzado y líder a nivel mundial por el número de proyectos certificados desde su creación en 1990” – según la propia página web breeam.es.

Otra certificación relacionada importante es la aportada por el **Green Building Council España (GBCe)** o Consejo para la Edificación Sostenible de España, constituido en 2009, es una asociación sin ánimo de lucro y máximo referente de la Certificación Verde en apoyo a la transición hacia un modelo sostenible del sector de la edificación, siendo el **Certificado Verde de construcción sostenible** el único que asegura que el edificio cumple con 14 indicadores cuantificables referidos al impacto ambiental. [14]

Por su carácter importante para este Trabajo Fin de Máster, del documento de la ERESEE 2020 se destaca que sus colaboradores son:

- El IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) empresa adscrita al MITECO que publica numerosas guías técnicas sobre cálculo de instalaciones ingenieriles e informes sobre planes de recuperación mediante la transformación impulsada -por las subvenciones que brinda para financiar en parte el uso de tecnologías renovables u otras en proyectos nuevos- y el ahorro energético y económico. Un programa destacable del IDAE es el PREE 5000 (Programa de Rehabilitación Energética de Edificios en municipios de reto demográfico reflejado en natalidad, mortalidad, migración internacional, etc.), cuyas actuaciones de ejecución se subvencionan y quedan reguladas por RD 691/2021.
- ATECYR (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración)
- **ADHAC (Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío)**
- Agenda 2030, aprobada en 2015 por todos los Estados miembros de las Naciones Unidas y que constituye los 17 ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) a cumplir por los proyectos emergentes para conciliar los efectos e impactos en 2030.

Por otro lado, existe la **ELP2050, la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo** hasta 2050 queda representada y definida en una hoja de ruta que guiará a **España** hacia la transformación de descarbonización y la meta de neutralidad climática en 2050. Como se habrá podido deducir, esta ELP 2020-2050 es la versión análoga prolongada o avanzada de la ERESEE 2020.

La ELP marca el objetivo último para España en reducir al menos en un **90% de las emisiones** contaminantes de GEI's para 2050.

Los 8 hitos de la hoja de ruta del GBCe, y en concreto de ELP 2050, vienen reflejados en la ilustración 10. [14]



Ilustración 10 Hoja de ruta por hitos de la estrategia ELP 2050. Fuente: GBCe.

Existe incluso un plan de 10 puntos para acelerar la transición energética exitosa en cuanto a calefacción y refrigeración de la UE, publicado el 18 de octubre de 2022, que indica:

- 1) Desarrollar una estrategia sólida de calefacción y refrigeración para alinearse con la Ley del Clima y el imperativo de seguridad energética.
- 2) **Ampliar el alcance de las renovaciones de edificios para conectarse con el suministro de calor residual renovable y sostenible en las ciudades.**
- 3) Introducir una planificación de calor obligatoria para las autoridades locales.
- 4) Proporcionar los recursos humanos adecuados para el desafío.
- 5) Repensar el marco de financiación para la calefacción urbana sostenible.
- 6) **Detener la ayuda a los combustibles fósiles y redirigir a soluciones de calor residual eficientes, renovables y sostenibles.**
- 7) Establecer un campo de juego nivelado en el mercado del calor.
- 8) **Incentivar el uso de calor residual sostenible.**
- 9) Acelerar el despliegue de fuentes renovables de calor y electricidad.
- 10) Adoptar un enfoque holístico para construir políticas de descarbonización. [15]

Los tres puntos destacados en negrita, son el enfoque prioritario de este TFM.

Se deja como mera curiosidad el ciclo del carbono en la vida de los edificios en la ilustración 11, desde el transporte y las materias primas, hasta la sustitución para rehabilitación y el desmantelamiento. [14]

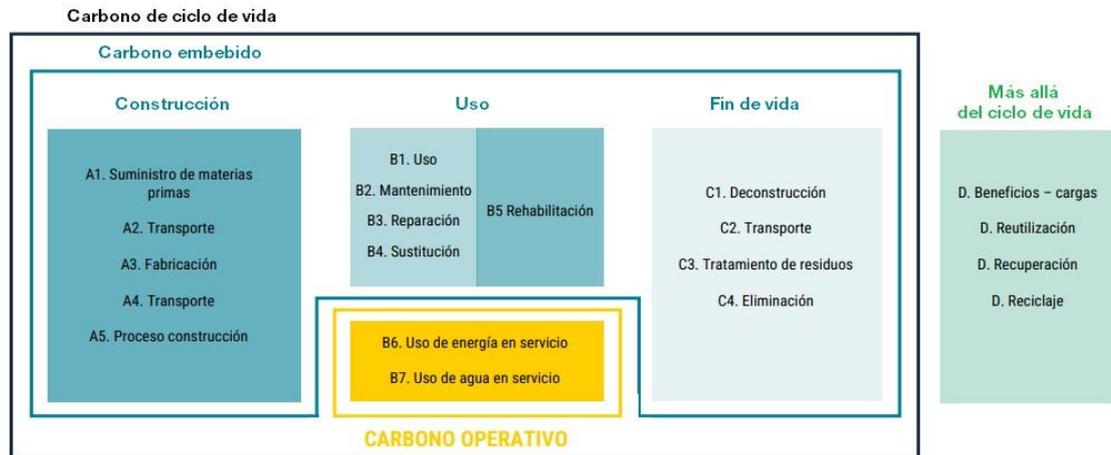


Ilustración 11 El ciclo de carbono en la edificación. Fuente: GBCe.

Para terminar, se van a explicar brevemente de los planes PNIEC y PNACC.

- El PNIEC es el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, y su documento en pdf de 1.034 páginas se titula además “Estudio Ambiental Estratégico Y Declaración Ambiental Estratégica”. Se ha guiado por el principio “Primero, la eficiencia energética”. [16]
- El PNACC es el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático que se ha seguido en fases: PNACC 2006-2020 de varios documentos, Programa de Trabajo PT 1 del PNACC 2021-2025 de 78 páginas, PT 2 del PNACC 2026-2030, y el PNACC 2021-2030 de 246 páginas.

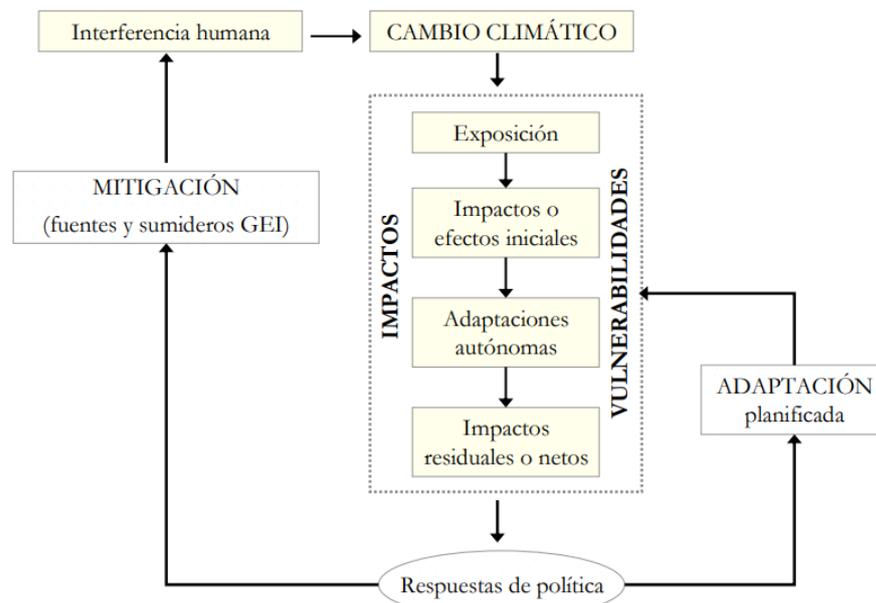
Los programas de trabajo detallan de manera operativa (como si fueran episodios en serie) el desarrollo completo del PNACC. (Véase un resumen en la ilustración 12.) [16]



Ilustración 12 Funcionamiento y estructura del PNACC. Fuente: pdf Programa de Trabajo 1 2021-2025.

En general, el PNACC marca que sus PT están compuestos por dos secciones fundamentales: medidas previstas por el marco temporal del PNACC y medidas prioritarias por riesgo climático real. También resalta las organizaciones responsables y colaboradoras del desarrollo de dichas medidas, y los indicadores de cumplimiento de las medidas para favorecer la correcta evaluación y el seguimiento previsto.

Véase el esquema de impactos y soluciones elaborado por el PNACC y antes por el IPCC de 2001 en la ilustración 13. [16]



(Fuente: Tercer Informe de Evaluación, IPCC 2001)

Ilustración 13 Esquema de actuaciones del PNACC 2006 en base al IPCC. Fuente: PNACC, MITECO.

Como conjunto, el Marco Estratégico de Energía y Clima viene definido por los documentos:

- el anteproyecto de la Ley del Cambio Climático o Ley del Clima 7/2021
- el PNIEC (y PNACC),
- y la Estrategia de Transición Justa (ERESEE y ELP).

En la consecución de la transición justa efectiva, se sigue el **Paquete de Energía Limpia** establece objetivos para Europa y para cada uno de sus estados miembros a alcanzar en 2030 y 2050. Este concepto pretende llevar un registro visualmente fácil de seguir, comparando cada año con típicamente 1990, definiendo la proporción porcentual de las fuentes energéticas empleadas, y con el propósito de ir:

- Aumentando la eficiencia energética y el ahorro que significa
- Reduciendo las emisiones contaminantes
- Incrementando la proporción eléctrica contribuyente de energías renovables

Entonces, tomando como referencia 1990, en 2020 se hablaba en la Comisión Europea de un **objetivo de emisiones reducidas** en un 20%, pero para 2030 se establece un compromiso de la UE para reducir las en un 55% y un compromiso de España en concreto de reducir en 23%.

Y acorde a las Directivas EE (**eficiencia energética**) y ER (**energías renovables**), los objetivos de reducción del consumo (o del aumento del ahorro energético) son:

- EE: para la UE del 32,5% y para España del 39,5% con respecto al año 2007 como referencia, de tal manera que los requisitos mínimos de rentabilidad de medidas adoptadas relativas a eficiencia energética para la rehabilitación sean revisados y quizá corregidos y actualizados cada 5 años.

La Directiva sobre eficiencia energética es la 2018/2002/UE, que sustituye a la anterior 2012/27/UE.

- ER: para la UE del 32% y para España del 42% con respecto al año 2007 como referencia. La Directiva sobre energías renovables es la 2018/2001/UE, y también se puede consultar la 2009/28/CE.

Todo esto habiendo considerado que el número de habitantes hasta 2050 será de 10.000 M.

Dichos objetivos del Paquete de Energía Limpia figuran en la ilustración 14.

OBJETIVOS UE PAQUETE DE ENERGÍA LIMPIA PARA TODOS LOS EUROPEOS



	2030	2050
EMISIONES GEI	-40%	-80% a -95 %
% RENOVABLES ENERGÍA FINAL	+32%	
MEJORA EFICIENCIA ENERGÉTICA	+32,5%	

OBJETIVO PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA PNIEC 21/30



	2030	2050
EMISIONES GEI	-21%	-90%
% RENOVABLES ENERGÍA FINAL	+42%	+100%
MEJORA EFICIENCIA ENERGÉTICA	+39,6%	

(1) Valores de referencia año 1990

Ilustración 14 Objetivos del Paquete de energía limpia respecto a 1990. Fuente: SinerConsult.

Las tendencias de los objetivos en reducción de emisiones contaminantes pueden verse gráficamente en la ilustración 15.

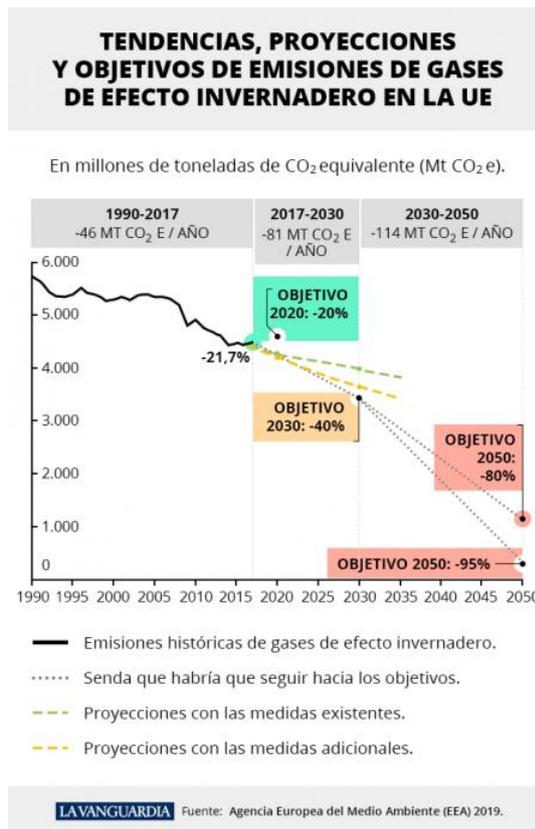


Ilustración 15 Tendencias a 2050 de objetivos de reducción emisiones GEI's. Fuente: La Vanguardia.

Los objetivos de la ELP a 2050 son muy ambiciosos y se plantean en la ilustración 16.



Ilustración 16 Objetivos % para 2050 según la ELP. Fuente: ESMARTCITY.es.

Actualmente, España -al igual que el resto de estados miembros- está atravesando la denominada por la Comisión Europea en un comunicado de Bruselas del 14 de octubre de 2020 la “**ola de renovación**”, según ATECYR el 3 de enero de 2021 afirmó en su *Curso Estrategia Rehabilitación Energética en el sector residencial para consumo casi nulo*, y dicha renovación consiste en reformar todos los edificios que se construyeron hace más de 20 años en la UE (que representan el 85% de los edificios de España), ya que al rehabilitarlos se está prolongando su ciclo de vida. **Los edificios nuevos**, que se certifican con las normativas más recientes (CTE 2022 y RITE 2021) y por tanto en las metodologías de calificación de la eficiencia energética de las mismas, **consumen la mitad de la energía que los edificios que llevan contruidos desde el siglo XX**. [17]

Los enfoques más rentables serán las medidas y acciones adecuadas al tipo de edificio y a la zona climática en la que se encuentre. No sólo se pretende ahorrar energéticamente sino también económicamente en la factura eléctrica. Las estrategias ERESEE y ELP 2050 para rehabilitar y descarbonizar los parques de edificación intentan promover tecnologías inteligentes y edificios o comunidades interconectados, además de justificaciones calculadas de ahorros y beneficios en la salud, seguridad y calidad del aire.

En todo proyecto es bueno mencionar **cómo impactan** en la **sostenibilidad** los resultados del mismo. Ello se refleja en la Agenda 2030, para algunos de sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenibl. En la ilustración 17 (coincidentalmente), se representan sus tendencias/progresos en una flecha ascendente.



Ilustración 17 ODS de la Agenda 2030 y sus tendencias. Fuente: Pacto Mundial.

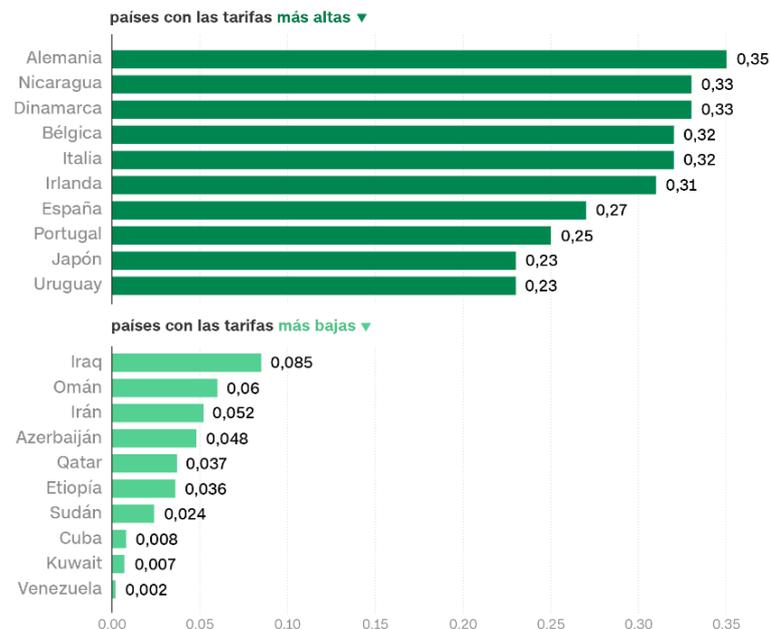
1.1.5 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Desde 2015, comenzó a ganar popularidad el **mix energético** (en otros documentos se llama matriz energética nacional o surtido energético) sobre la procedencia de la energía eléctrica (y su proporción de renovables) en la factura de la luz de los edificios. [18]

Como se indica en la ilustración 18, el **coste de la energía** es ya de 0,27 \$/kWh (que son 0,256 €/kWh) en España, y se toma como valor medio ya que varía en función de las horas pico y valle de demanda eléctrica nacional (por eso ante la duda es correcto suponer 0,21-0,29 €/kWh). Lo que indica este valor es que cuantos más prosumidores haya (productores de energía eléctrica renovable y consumidores de esa misma energía), menor dependencia del mercado eléctrico, menor dependencia del exterior por otras fuentes (combustibles) y mayor rentabilidad tendrá cada país y menores emisiones contaminantes irán contribuyendo al calentamiento global (porque como es sabido, la Red Eléctrica Española tiene su punto de generación en centrales eléctricas cuyos grupos electrógenos y otros equipos se alimentan de diésel o combustibles fósiles similares).

¿Cuál es el costo de la electricidad alrededor del mundo?

A continuación, una selección de los países con las tarifas más altas de electricidad para consumo doméstico, medida en US\$ por kWh (kilovatio hora), y los que registran las tarifas más bajas.



Para fines comparativos, se han omitido países con altos precios de la electricidad como consecuencia de un reducido acceso a la misma (menor al 70% de la población).

Fuente: The World Bank (2019), Eurostat (2020), Cepal (2018), Statista (2020) y GlobalPetrolPrices (2020).
Gráfico: Jhasua Razo. CNN

Ilustración 18 Comparación de tarifas eléctricas en el mundo. Fuente: CNN.

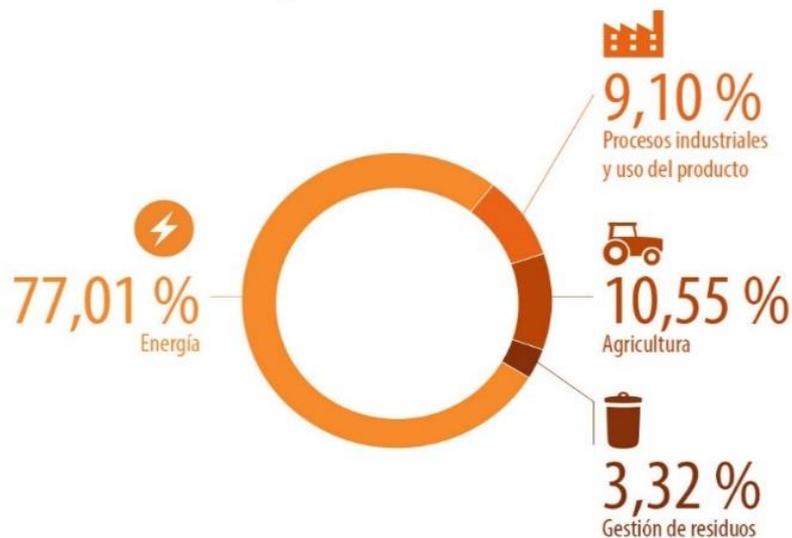
En España, el precio de la energía eléctrica viene calculado por sus tres componentes: el coste del mercado, el coste regulado, y los impuestos. (Véase la ilustración 19.)



Ilustración 19 Cómo se calcula el coste de la energía eléctrica. Fuente: TotalEnergies.

La importancia de la energía en mayor cantidad de emisiones nocivas para el medio ambiente viene estimada del año 2019 en la ilustración 20.

Emisiones de gases de efecto invernadero en la UE por sector* en 2019



*Todos los sectores excluyendo el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura
El porcentaje no llega al 100% por el redondeo de las cifras

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)



Ilustración 20 Emisiones de GEI's por sector en la UE 2019. Fuente: www.europarl.europa.eu.

Las emisiones más severas para la atmósfera son el CO₂, CH₄, N₂O y HFCs. De CO₂ hay constantes emisiones, poco dañinas pero frecuentes, que acumulándose acaban siendo perjudiciales para el estado de la atmósfera. El metano es dañino igual que el amoníaco y los óxidos de azufre. Los óxidos de nitrógeno, el cloro y el flúor son muy dañinos. (Véase la ilustración 21.)

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA UE Y EN EL MUNDO



Ilustración 21 Emisiones de GEI's en la UE y el mundo. Fuente: European Union.

España emite alrededor de 314.500 GEI's en [kton equivalentes a CO₂], siendo el mayor contaminante europeo Alemania con 809.800 kteq CO₂ y el menor contaminante Malta con 2.000 kteq CO₂. (Véase la ilustración 22.)

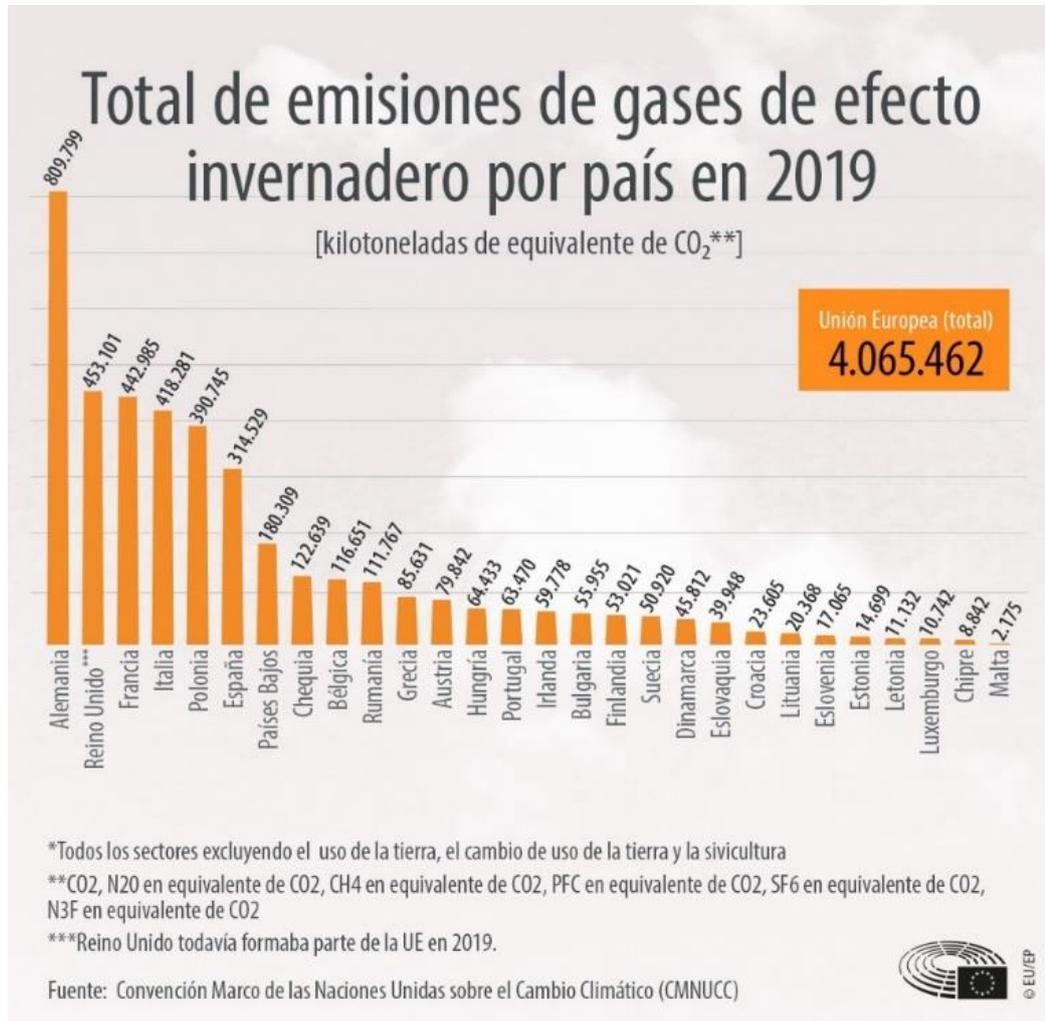


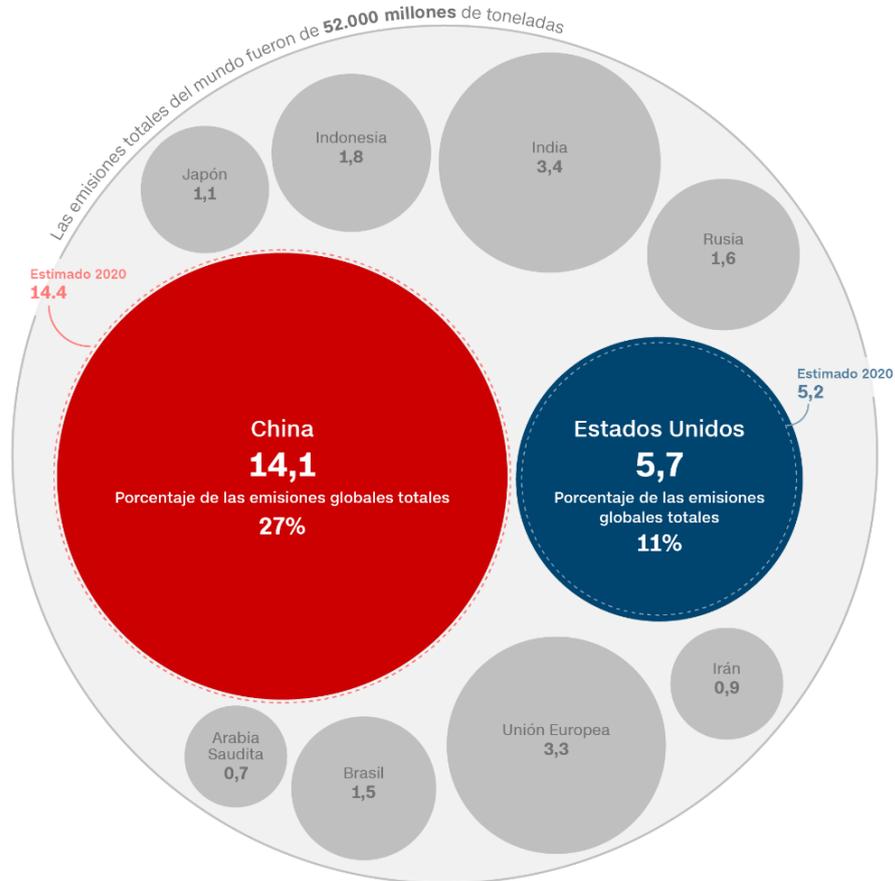
Ilustración 22 Emisiones de GEI's en la UE 2019. Fuente: www.europarl.europa.eu.

Y en el mundo, los países más contaminantes son los de la ilustración 23, siendo China más del doble que EE.UU., y la UE siendo comparable a la India en emisiones, así como lo son Indonesia, Rusia y Brasil.

China es el mayor emisor de gases de efecto invernadero del mundo

En 2019, China emitió cerca de 2,5 veces más gases de efecto invernadero que Estados Unidos

Estos son los 10 principales emisores, según el equivalente a miles de millones de toneladas de CO₂



Nota: los datos están expresados como emisiones netas, que incluyen en el cálculo la eliminación del CO₂ a través de los bosques y la tierra.

 Fuente: Grupo Rhodium

Ilustración 23 Países del mundo más contaminantes. Fuente: CNN.

A corto plazo, se está tratando de reducir las emisiones en los siguientes 4 sectores más destacados actualmente, ya que representan el 83% respecto de los demás 10 sectores, según el documento del PNIEC (por el MITECO), en sus páginas 11 a 13 [16]:

- Generación eléctrica (centrales y otros) → Reducción 64% emisiones
- Movilidad y transporte (por carretera, aire, mar y espacio) → 31%
- Residencial y terciario (edificios de viviendas y comerciales) → 35%
- Industria (que empleen combustión) → 19%

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este proyecto nace de la necesidad de conectar dos mundos que han operado “separados” hasta la fecha: el ámbito del Centro de procesamiento de datos (CPD) y el ámbito de la edificación (en este proyecto, serán sectores residencial y terciario).

Los CPD consumen mucha refrigeración y sus chillers tienen condensadores por aire que dejan escapar el calor residual, y por otra parte los edificios de viviendas tienen sus propios sistemas de calefacción y refrigeración, en los cuales la mayoría suele ser calderas, las cuales a pesar de lo dañinas que son para el medio ambiente, siguen teniendo la confianza o costumbre del consumidor comparado con elegir una bomba de calor. Cuando sólo existían radiadores para calefactar las estancias, parecía que sólo las calderas podían alcanzar 80°C para que los radiadores funcionasen correctamente, pero hoy en día hay más opciones por elementos terminales que destacan por su eficiencia energética y prestaciones, entre las cuales se encuentra una menor temperatura de 45°C, precisamente compatible con una bomba de calor.

Así pues, este TFM es un proyecto que defiende la posibilidad que tiene un CPD de aprovechar el calor que está evacuando al año para vendérselo a su parque edificado más próximo, con lo que se estará contribuyendo al compromiso con el medio ambiente por el Acuerdo de París y el Paquete de Energía Limpia, mediante el empleo de una red urbana de calor y frío.

El único aspecto que más habría que vigilar a la hora de construir la sala de máquinas, es el refrigerante que utilizan, que por los Reales Decretos que se mencionan a continuación deberán ser bajos en cloro y flúor en la medida de lo posible (para mitigar sus efectos cuando sean disipados -en estado gaseoso y debido a pequeñas fugas- a la atmósfera), según:

- la clasificación marcada en el **RSIF** o RD 552/2019 (véase la ilustración 24, donde los favoritos son los grupos A2L y A1), en el cual los refrigerantes se evalúan por su PCA (potencial de calentamiento atmosférico) -en inglés se dice GWP (global warming potential)- y por su PAO (potencial de agotamiento de la capa de ozono) o SAO para sustancias -en inglés se dice ODP (ozone depletion potential)-.

Tabla 1
Clases de seguridad y su determinación en función de la inflamabilidad y toxicidad

		Baja toxicidad	Alta toxicidad
Incremento riesgo - inflamabilidad	Sin propagación de llama	A1	B1
	Baja inflamabilidad	A2L	B2L
	Media inflamabilidad	A2	B2
	Alta inflamabilidad	A3	B3
		→ → Incremento riesgo - toxicidad	

Para el propósito del presente Reglamento se agrupan de forma simplificada como sigue:

Grupo L1 de alta seguridad = A1.

Grupo L2 de media seguridad = A2L, A2, B1, B2L, B2.

Grupo L3 de baja seguridad = A3, B3.

Cuando existan dudas sobre el grupo al que pertenece un refrigerante éste se deberá clasificar en el más exigente de ellos.

Ilustración 24 Clasificación de refrigerantes del RSIF 2019. Fuente: BOE RD 552/2019.

- Normativa F-Gas o Reglamento CE 517/2014 (que sustituye al anterior CE 842/2006), que regula la comercialización y manipulación de los Gases **Fluorados** de Efecto Invernadero (GFEI), representados hoy en día en mayor parte por los HFCs.
- RD 712/2022 del 30 de agosto (que sustituye al anterior RD 1042/2013), por el que se aprueba el Reglamento del **Impuesto** sobre los GFEI, porque los HFCs tienen un PCA muy elevado, y se les sube el precio para consumirlos menos en el tiempo.

En la ilustración 25, se muestra detalladamente la evolución de las generaciones de refrigerantes que se han prohibido y cuáles se permiten hoy en día (HFO mayoritariamente y algunos HFC).

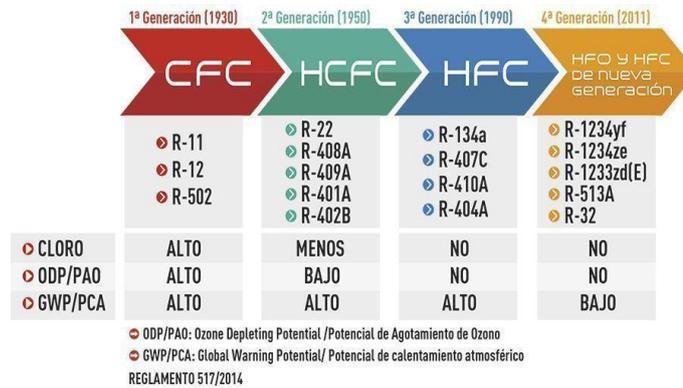
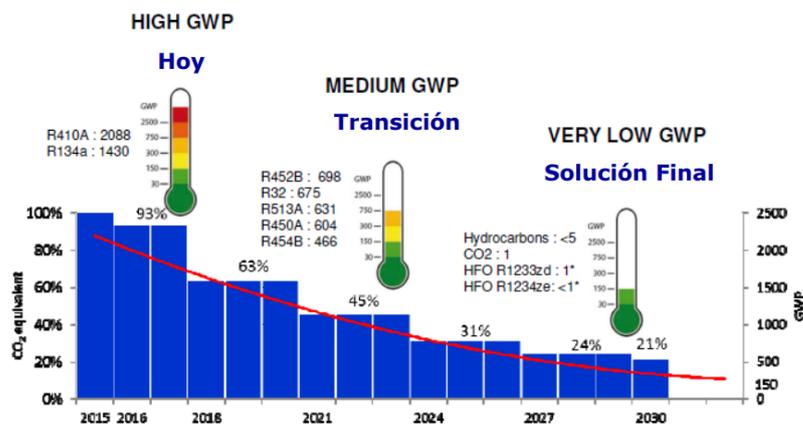


Ilustración 25 Generaciones de refrigerantes. Fuente: ProInstalaciones.

Finalmente, se muestra la tendencia de prohibición de los HFC para 2030 según catálogo de Carrier. En la ilustración 26, se observa que los R-1233zd y R-1234ze son HFOs y se admiten en el uso de proyectos (y precisamente sean los que se han seleccionado en éste, en cumplimiento con el Reglamento de gases fluorados).



REGLAMENTO F-GAS CALENDARIO DE REDUCCIÓN DE USO DE HFC



Una Solución Final que se considere a Largo Plazo debería disponer de PCA < 150

PCA bajo AR4 IPCC. PCA HFO bajo AR5 IPCC

AquaForce® Vision – © Carrier 2020 - confidential & proprietary document

Ilustración 26 Carrier plantea la reducción de HFC para 2030. Fuente: Catálogo Aquaforce de Carrier.

1.3. OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto fin de Máster en Ingeniería Industrial habilitante es el estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema de máxima eficiencia energética a escala industrial, que concilie el mundo de los centros de datos (que emite energía calorífica en forma de aire no aprovechado) con el sector de edificios residenciales y terciarios (que se ha asumido que habrán estado utilizando calderas de gas natural en el mejor de los casos, ya que son edificios anteriores al año 2006, y por ello es poco probable que ya usen bombas de calor).

Para llevarlo a cabo, se ha transformado el consumo de energía de los centros de datos en un **recurso recuperado** (reincorporado al sistema), para evitar que se desperdicie, mediante una red urbana de agua caliente y agua fría para calefacción y refrigeración de edificios circundantes (District heating and cooling, DHC). Para ello, se sustituirá la caldera por una subestación mixta conectada a la red DHC y centralizada para cada edificio.

1.4. EMPLAZAMIENTO

El emplazamiento general del proyecto se ubica en el Distrito nº20 San Blas-Canillejas, en el barrio nº206 Rejas, concretamente en la mitad Este de la zona 068. Todo parte del centro de datos Global Switch TIER III de Madrid, asentado en c/Yécora, 4, 28022. Véase la ilustración 27.



Ilustración 27 Emplazamiento del proyecto. Fuente: Portal web del Ayuntamiento de Madrid. Cartografía.

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del presente proyecto se ha establecido en el diseño técnico -basado en asesoramiento profesional de contactos con la industria y cursos tomados por la autora durante 2022 (esto es, información de máxima actualidad) referenciados en la Bibliografía-, y en el estudio económico comparativo entre la propuesta estudiada y la situación actual tradicional, ofreciendo una perspectiva de aprovechamiento del calor residual o disipado mediante un sistema condensado por agua que pueda beneficiar a todos los stakeholders posibles.

Al ser académico, no se ha previsto la obra y montaje reales de esta instalación. Por lo tanto, este proyecto sirve como idea de optimización -pero también es optimizable- a un equipo de profesionales heterogéneo o multidisciplinar (ya que reúne todas las tecnologías industriales) de empresas experimentadas en los sectores que involucra este proyecto.

1.6. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Capítulo 1: Se introduce la visión global del problema del incremento de la tasa de calentamiento global y se define la intención del proyecto planteando los objetivos que persigue.

Capítulo 2: Se exponen las normas que se han aplicado en el proyecto por su importancia.

Capítulo 3: Se detalla la comparación y la justificación de las alternativas conocidas al momento de elaboración de este proyecto, pues introducirán el funcionamiento de los equipos que se dimensionarán y presupuestarán. También, se especifica algunas referencias de otros proyectos con espléndidos resultados.

Capítulo 4: Se parte de la demanda real (certificada a través de softwares muy reconocidos en las empresas de ingeniería), porque es el fundamento necesario para la selección de todas las máquinas de la red DHC. Se redacta la Ingeniería Básica, describiendo minuciosamente el proyecto, con todos los cálculos realizados que han permitido justificar los criterios tomados. Al final, se muestra el cronograma de ejecución del proyecto y su representación en diagrama de Gantt.

Capítulo 5: Se compara el servicio que se planea proporcionar a los edificios vecinos del CPD con respecto a la alternativa que tendrían convencional en un estudio económico y el horizonte temporal de la vida útil mínima de la red DHC analizado en el flujo de caja. Se termina con los cálculos de emisiones y la certificación real basada en un programa de la red que termina de demostrar la comparación de la situación convencional y la propuesta.

Capítulo 6: Se redactan las conclusiones obtenidas de la elaboración del proyecto y se plantean ideas creativas de investigación para un futuro cercano, que el lector podrá mirar más en profundidad si le fueran de interés.

Capítulo 7: En los Anexos complementarios y asociados a la Memoria descriptiva del proyecto, se incluyen los planos detallados de esquemas de principio de funcionamiento, especificaciones, y las hojas características de las fichas técnicas de los catálogos.

Capítulo 8: Se contempla el Pliego de las condiciones y especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir la instalación, constantemente referenciando los reales decretos y normas que se han seguido para poder garantizar la calidad del servicio de calor y frío que recibirá el usuario, y también para prolongar la vida útil de la red.

Capítulo 9: Se presenta el Presupuesto, el cual supone la evaluación económica total del proyecto. Incluye el coste de los materiales, de la mano de obra, y los honorarios propios. Se compone de mediciones, importes, las características más relevantes de calidad y el recuento final.

Capítulo 10: Se redactan los Estudios de entidad propia, que constituyen documentos impuestos por exigencias legales, tales como Impacto Ambiental y Prevención de Riesgos Laborales (PRL).

Capítulo 11: Se referencian las fuentes consultadas, tanto online como en formato físico (libros), así como algún curso que la autora ha estudiado para tener mayor fiabilidad en la exposición escrita del proyecto.

MEMORIA

Capítulo 2. DISPOSICIONES LEGALES

Ley 7/2021 el 20 de mayo de 2021, de cambio climático y transición energética.

La Comunicación de la Unión Europea relativa al Pacto Verde Europeo («The European Green Deal»), de diciembre de 2019.

El Marco Estratégico de Energía y Clima, que establece el anteproyecto de la Ley del Cambio Climático o Ley del Clima 7/2021, el PNIEC (y PNACC), y la Estrategia de Rehabilitación energética durante la Transición Justa en España (ERESEE y ELP).

La Directiva sobre eficiencia energética es la 2018/2002/UE, que sustituye a la anterior 2012/27/UE.

La Directiva sobre energías renovables es la 2018/2001/UE, y también se puede consultar la 2009/28/CE.

Ley de Ordenación de la Edificación LOE o Ley 38/1999, establecida a través del Código Civil y de una variedad de normas cuyo conjunto adolece de serias lagunas en la ordenación del complejo proceso de la edificación, tanto respecto a la identificación, obligaciones y responsabilidades de los agentes que intervienen en el mismo, como en lo que se refiere a las garantías para proteger al usuario.

RSIF o RD 552/2019, por el que se aprueban el Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC, tal y como en otros reglamentos, p.ej. RITE y REBT).

Normativa F-Gas o Reglamento CE 517/2014 (que sustituye al anterior CE 842/2006), que regula la comercialización y manipulación de los Gases Fluorados de Efecto Invernadero (GFEI), representados hoy en día en mayor parte por los HFCs.

RD 712/2022 del 30 de agosto (que sustituye al anterior RD 1042/2013), por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre los GFEI, porque los HFCs tienen un PCA muy elevado y entonces las medidas tomadas son un precio mayor para consumirlos menos y cumplir la meta de 2050, y de acuerdo con las Cumbres del Clima.

ASHRAE comité técnico TC 9.9, que publicó “The Thermal Guidelines for Data Processing Environments” para salas IT de CPDs.

Estándar del Uptime Institute para categorizar en un lenguaje común las recomendaciones correspondientes a cada nivel de resiliencia TIER del CPD, y posterior revisión y certificación de proyectos de climatización de centros de datos por el Uptime Institute como entidad.

RD 865/2003, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, donde su “ANEXO 4: Mantenimiento de torres de refrigeración y condensadores” evaporativos define con todo lujo de detalles el procedimiento que conlleva el tratamiento. Actualmente, la versión es RD 487/2022, de 21 de junio, por el que se establecen los requisitos sanitarios para la prevención y el control de la legionelosis.

Reglamento Delegado (UE) 2021/2139 de la Comisión, que completa al Reglamento (UE) 2020/852, y que establece los criterios técnicos para determinar si una actividad económica no causa un perjuicio significativo a ningún objetivo ambiental, con capítulos clave de energía, edificación y CPDs.

NBE-CT-79 (RD 2429/1979), la norma previa al Código Técnico de la Edificación (CTE) conocido hoy del 2019 y más recientemente 2022.

RD 1027/2007, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), que se ha consultado en paralelo a su nueva versión consolidada, RD 178/2021, pues ésta incorpora nuevas instrucciones técnicas, modifica otras y el índice es diferente.

CTE-DB-HE de Ahorro de Energía.

CTE-DB-SE (2019) de Seguridad Estructural, con su complemento CTE-DB-AE (2009) de Acciones en la Edificación, para conocer el peso de máquinas que aguantaría el CPD.

CTE-DB-SI (2010) de Seguridad en caso de incendio, para conocer la ocupación de personas según el tipo de local.

RD 552/2019, por el que se aprueban el Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas (RSIF), para clasificar los refrigerantes empleados y detallar las condiciones más estrictas a una sala de máquinas, con sus instrucciones técnicas complementarias se aplicarán a las instalaciones frigoríficas de nueva construcción (que abreviadas son instrucciones IF).

Real Decreto 842/2002, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), con versión más reciente RD 244/2019.

Metodología de dimensionado de un depósito de expansión según la norma UNE 100.155:2004 - Climatización: Diseño y cálculo de sistemas de expansión, capítulo 9. Sustituyó a la versión de 1988.

RD 1627/1997, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

LOE o Ley 38/1999, del 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.

CT de Obra civil DB-PRL-MT (Movimiento de tierras), capítulo 3.

Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborables.

Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público.

Capítulo 3. VIABILIDAD TÉCNICA Y COMERCIAL

En este capítulo, se detalla la comparación y la justificación de las alternativas conocidas al momento de elaboración de este proyecto, pues introducirán el funcionamiento de los equipos que se dimensionarán y presupuestarán. También, se especifica algunas referencias de otros proyectos con espléndidos resultados.

3.1. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS

En los subapartados del 3.1., se explicarán las razones que han motivado la selección de unos términos y conceptos de máquina en contraposición a otros.

3.1.1. CENTRAL TÉRMICA VS CENTRO DE DATOS

La pregunta: “¿Por qué se quiere aprovechar en este proyecto el calor residual de un centro de procesamiento de datos (CPD) y no de una central térmica convencional?”, tiene la siguiente respuesta:

Porque es necesario optimizar las necesidades de otros sectores industriales y también ampliar las acciones de eficiencia energética en todos los parques edificados disponibles, tal como se puede observar en la ilustración 28 del fabricante Carrier.

La UE ha identificado y calculado que se disipa suficiente calor para cubrir todas las necesidades de calefacción de la UE en edificios residenciales y terciarios.



Ilustración 28 Temperatura del calor disipado del sector terciario e industrial. Fuente: Carrier.

Ya no es sólo importante **incluir energías renovables a prácticamente todos los proyectos**, sino introducir la **reutilización de residuos energéticos** (economía circular), y es que si el aire evacuado tiene calor específico, temperatura, densidad y caudal, tiene potencia, por tanto se puede traducir en términos de energía calorífica no aprovechada. Éste es el objetivo al instalar en serie y paralelo bombas de calor, pues son capaces de transformar dicho calor residual en energía térmica útil.

*“Los Data Centers consumen tanta energía que cada vez es más frecuente **pensar en soluciones para el reaprovechamiento del calor residual generado por los equipos**. Para hacerse una idea, en 2016 cerca del **1,3% de la energía de todo el mundo es usada por esos centros**. [...] La utilización del calor residual transformado en energía puede significar **14% de la renta bruta anual de un CPD**. El CPD podría generar y realimentarse de ese calor en modo **sistema cerrado** (como puede ser una red de distrito), de hecho **tiene más facilidad de ser transferido a un medio líquido que pueda ser reaprovechado en el calor urbano**.” – LAC Blog, TD Synnex. [20]*

Información más reciente en 2022, de la empresa Danfoss [21], indica que los CPD ahora consumen el 3% de la electricidad mundial, y tienen tantas emisiones de carbono (debido al diésel empleado para los grupos electrógenos y a la REE que viene de centrales que emplean también combustible fósil) como todas las aerolíneas de aviones juntas, como se muestra en la ilustración 29.



Superar el desafío de los centros de datos

MUNDO: los centros de datos utilizan actualmente casi el 3 % de la electricidad mundial (el equivalente al consumo de Gran Bretaña) y emiten tanto CO₂ como todas las aerolíneas del mundo juntas. Contamos con la tecnología para reducir el consumo de electricidad de los centros de datos y utilizar el excedente de calor para calentar hogares.

Ilustración 29 Consumo eléctrico de un centro de datos en 2022. Fuente: Danfoss.

Finalmente, para cubrir todos los escenarios, se han tomado en cuenta las dos opiniones escépticas más frecuentemente escuchadas y se ha decidido contestarlas una vez estudiado el proyecto en profundidad gracias a los cursos de ATECYR y COGITIM:

Opinión: *Es difícil adaptar el calor que emite el Data Center al espacio deseado ya que la densidad dentro de los CPD's suele ser muy alta.*

Respuesta: No es problema, ya que aunque la densidad de potencia típica de un CPD sea 1.000-3.000 W/m², esto solo significa que el Global Switch elegido tiene una capacidad frigorífica necesaria de 24 MW y una superficie total de las tres plantas del edificio de 22.000 m². Pero esto no es muy relevante a efectos de una red DHC, ya que los únicos datos importantes son la potencia demandada de los edificios a abastecer, las pérdidas eléctricas en las máquinas (consumo de máquinas = demanda del edificio / rendimiento de máquinas) y de m.c.a. en las tuberías, y la carga en kN/m² de la estructura sobre todo en la cubierta del CPD para ubicar las máquinas. Hace diez años, la temperatura media del aire caliente dentro de un CPD, proporcionada por las unidades climatizadoras solía estar a 20°C en impulsión y 32°C en retorno del aire por rejillas en falso suelo y falso techo, pero desde hace poco tiempo 26/35°C (el retorno a 35°C aumenta tras haber atravesado los racks de la sala IT que están a 40-90°C, usualmente a 80°C disipan el conjunto de servidores de los racks). Por otro lado, el calor se adapta perfectamente y mucho mejor por agua que por aire, máxime con las nuevas tecnologías de inmersión. Por su parte, el agua circula en torno a 12°C. [22]

Opinión: *Los dueños de los Data Centers no quieren realizar una instalación anexa al mismo para reutilizar ese aire, ya que supone incrementar los gastos y ampliar la utilización del espacio.*

Respuesta: No les supondrá problema alguno si las máquinas que reemplacen a las suyas tienen prestaciones y coste muy parecidas o mejores, más aún habiendo subvenciones (del 35% por la Next Generation EU [23] según el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de distribución de fondos europeos) para las instalaciones que vayan a beneficiar la transición justa (se recuerda que las medidas eficientes no son porque sí, sino porque con la tecnología disponible hoy será bueno para todos a largo plazo y es necesaria la colaboración de todos los sectores para lograrlo a tiempo). Y en cuanto al espacio necesario, se puede construir un local cerrado o sala para las máquinas sustitutas, cuando los cálculos demuestran que la cubierta del CPD no podrá soportar la carga.

La importancia de los centros de datos reside en la proliferación del uso de competencias digitales en empresas y en la sociedad en general para asegurar los recursos y mejorar la optimización de los sistemas informáticos, demostrándose en la infografía de la ilustración 30 los ahorros económicos en millones de euros y un menor transporte físico necesario para transmitir información.

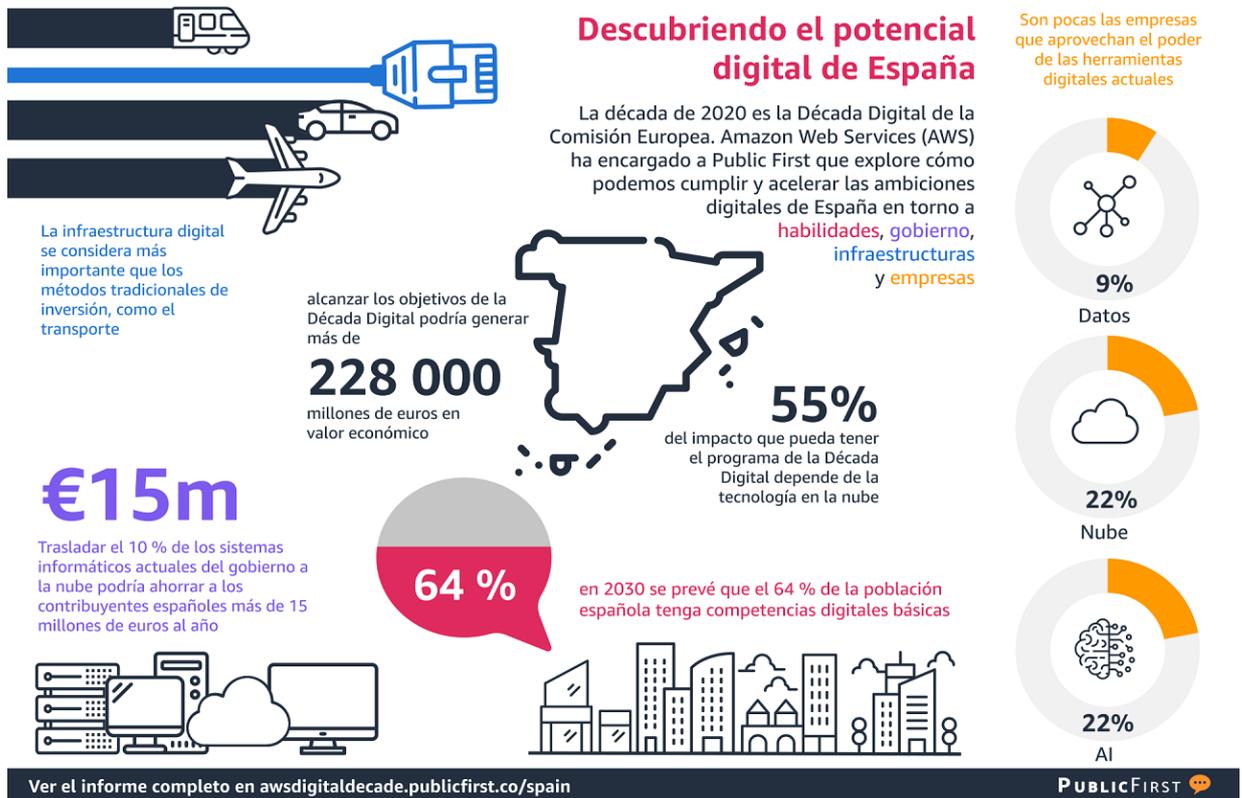


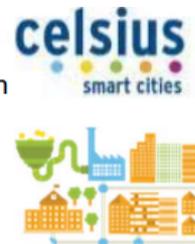
Ilustración 30 La Industria 4.0 en relación con la eficiencia. Fuente: ComputerWorld.

La relación de un centro de datos con la necesidad de aprovechar su calor evacuado, puede defenderse a partir de varias iniciativas empresariales, según figuran en la ilustración 31, como la empresa de soluciones de smart cities Celsius Initiative y el proyecto GrowSmarter, los cuales declaran que todo el calor residual producido en la UE podría aprovecharse para calentar edificios, mejorando su calidad de vida. [24]

Comercio.

Celsius

“Hay suficiente calor residual producido en la UE para calentar todo el stock de edificios de la UE. **Los sistemas de calefacción y refrigeración de distrito** tienen un papel importante que desempeñar para alcanzar los objetivos de eficiencia energética. “



GrowSmarter

12 soluciones de smart cities en energía, infraestructura y transporte.



“Al permitir que los **operadores de calefacción de distrito compren el exceso de calor y lo vendan**, se necesitará menos energía para calentar los edificios y los costos de calefacción se pueden reducir.”

Ilustración 31 Smart cities para aprovechar el calor residual en la EU. Fuente: Fenercom, Carrier (Joaquín Fernández).

3.1.2. CALDERA VS BOMBA DE CALOR

Aunque ya se demostrará en el apartado 4.1. Demanda y certificación preliminar, en este apartado se explicará la teoría de porqué es más eficiente una bomba de calor que una caldera.

Una caldera es un aparato a presión en donde el calor, procedente de cualquier fuente de energía (que puede ser un combustible fósil o una energía renovable como puede ser biomasa y recientemente se está estudiando hidrógeno), se transforma en energía útil a través de un medio de transporte en fase líquida o gaseosa. La caldera típica (véase la ilustración 34) se compone de:

- El **quemador** introduce el aire a la mezcla con el combustible.
- Un **hogar** en el que la mezcla de combustible y comburente (que normalmente es el oxígeno en el aire) provoca una reacción química de combustión que libera calor en forma de humos (reacción exotérmica), el cual se cede a un fluido de transporte o fluido caloportador (que podrá ser agua, aceite térmico o vapor), a través de una superficie de intercambio, que son los tubos metálicos.
- La **chimenea** es el conducto por donde se evacúan los gases nocivos.
- Válvula de seguridad para liberar el exceso de presión durante el funcionamiento de la caldera.
- Depósito de expansión para aliviar el exceso de presión del agua absorbiendo su dilatación a un incremento máximo de 1 bar.
- Acumulador de inercia.

La interacción entre ambos fluidos que intercambian calor, se efectúa mediante dos circuitos:

- Circuito de gases, que comienza técnicamente en el hogar (o químicamente en el quemador) y finaliza la salida de humos de la chimenea.
- Circuito tubular de agua, que comienza en la alimentación de la caldera y termina a la salida del tubo del fluido caloportador.
- Entre medias de ambos circuitos, se encuentra la superficie de intercambio de calor del fluido más caliente al más frío (de acuerdo con las leyes de la termodinámica).

Al final se tienen un circuito cerrado de calefacción entre la caldera y los radiadores, y un circuito independiente abierto de producción de agua caliente sanitaria (ACS) en el que el agua que entra desde la red se calienta en la caldera para continuar su recorrido hasta los grifos o duchas. Véase la ilustración 32.

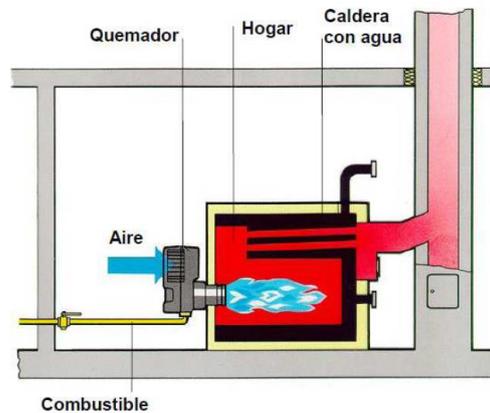


Ilustración 32 Componentes de una caldera convencional. Fuente: UEM Asignatura Instalaciones industriales, J.A. Sedano.

La caldera de carbón está prohibiéndose en España porque, como se muestra en la ilustración 33 (que sale del programa de certificación energética de edificios más comúnmente utilizado en empresas de ingeniería, CTE-HE 2019 HULC), el carbón emite 0,472 kg equivalentes de CO₂/kWh de energía final, el combustible más contaminante de la Historia. Las partículas sólidas de hollín que emite entre los humos evacuados por las chimeneas han sido muy dañinas para la salud, pues han provocado numerosos casos de neumonía, asma y cáncer.

Factores de paso de Energía Final			
Energético	a Energía Primaria Total [kWhEP/kWhEF]	a Energía Primaria No Renovable [kWhEPNR/kWhEF]	a Emisiones de CO ₂ [kgCO ₂ /kWhEF]
Electricidad	2,368	1,954	0,331
Gasoleo calefaccion / Fuel-oil	1,182	1,179	0,311
GLP	1,204	1,201	0,254
Gas Natural	1,195	1,190	0,252
Carbon	1,084	1,082	0,472
Biomasa no densificada	1,037	0,034	0,018
Biomasa densificada (pelets)	1,113	0,085	0,018
RED1	1,000	1,000	1,000
RED2	1,000	1,000	1,000

Ilustración 33 Factores de paso energía y emisiones. Fuente: HULC del CTE-HE-2019.

En 1970, el gasóleo (diésel) reemplazó al fuelóleo como combustible líquido de calderas, pues era más barato y emitía menos SO_x , principal reactivo de la lluvia ácida, entre otros efectos. El problema es que emite además NO_x . Emite hoy 0,311 kg equivalentes de CO_2/kWh de energía final.

Las calderas de GLP (gases licuados del petróleo) tenían un combustible que se había creado de separar el propano y el butano de la gasolina, después licuarlos aplicando presión moderada, y pudiéndose transportar el producto como un líquido o evaporarlo a estado gas. Se venden en botellas y bombonas, no por camiones cisterna y acometidas. El inconveniente que es que hay que vigilar que no llega a su límite mínimo de combustible ya que cortaría el suministro a la caldera. Emite 0,254 kg equivalentes de CO_2/kWh de energía final.

La caldera de gas natural lleva utilizándose desde aproximadamente 1990 y se sigue usando por ser de las más competentes, ya que emite la mitad de humos que el carbón, con lo cual libera el doble de calor que el mismo reflejado en su poder calorífico inferior PCI (según se ve en la ilustración 34 siguiente), y de hecho el gas natural es el combustible fósil que más vapor genera, pero se terminará prohibiendo dentro de 15 años (en cualquier caso, antes del 2050).

Mientras tanto, se le coloca un condensador a la salida de humos de la chimenea, para aumentar su rendimiento en un 20% al estar recuperando el calor que sale con los humos húmedos (mezclados con vapor) y realimentar a la caldera en bucle. Así funciona una caldera de condensación, el tipo de caldera más eficiente del mercado actual.

Poderes caloríficos inferiores de las principales fuentes energéticas

Tipo de combustible		PCI (MJ/t)	PCI (kWh/kg)	PCI (kcal/kg)	PCI (tep/t)
Petróleo y productos petrolíferos	Petróleo Bruto	42.300	11.750	10.110	1.0103
	Materias primas de refinería	43.000	11.944	10.277	1.0270
	GLP	47.300	13.139	11.305	1.1297
	Propano	47.300	13.139	11.305	1.1297
	Butano	47.300	13.139	11.305	1.1297
	Queroseno aviación	44.100	12.250	10.540	1.0533
	Otros querosenos	43.800	12.167	10.468	1.0461
	Gasolina	44.300	12.306	10.588	1.0581
	Gasolina aviación	44.300	12.306	10.588	1.0581
	Gasóleo/Diesel	43.000	11.944	10.277	1.0270
	Fuelóleo	40.400	11.222	9.656	0.9649
	Alquitrán	40.200	11.167	9.608	0.9602
	Nafta	44.500	12.361	10.636	1.0629
	Lubricantes	40.200	11.167	9.608	0.9602
	Coque de petróleo	32.500	9.028	7.768	0.7762
Gases	GNL	44.200	12.278	10.564	1.0557
	Gas natural	48.000	13.333	11.472	1.1465
	Metano	50.000	13.889	11.950	1.1942
	Etano	46.400	12.889	11.090	1.1082
	Gas de refinería	49.500	13.750	11.831	1.1823
	Gas de coquería	38.700	10.750	9.250	0.9243
	Gas de alto horno	2.470	0.686	590	0.0590
	Biogases en general	50.400	14.000	12.046	1.2038
	Biogás pobre	50.400	14.000	12.046	1.2038
	Biogás de vertedero	50.400	14.000	12.046	1.2038
	Biogás de depuradora	50.400	14.000	12.046	1.2038
Carbones	Antracita eléctrica	20.620	5.728	4.928	0.4925
	Antracita industrial	24.740	6.872	5.913	0.5909
	Antracita otros sectores de consumo final	26.450	7.347	6.322	0.6317
	Hulla eléctrica	23.000	6.389	5.497	0.5493
	Hulla coquizable	29.100	8.083	6.955	0.6950
	Hulla altos hornos	26.050	7.236	6.226	0.6222
	Hulla industrial	23.960	6.656	5.727	0.5723
	Hulla otros sectores de consumo final	27.100	7.528	6.477	0.6473
	Carbón subbituminoso	13.410	3.725	3.205	0.3203
	Coque de coquería	27.342	7.595	6.535	0.6531
	Alquitrán de hulla	36.843	10.234	8.806	0.8800
Biomasa en general	14.160	3.933	3.384	0.3382	

Ilustración 34 PCI de fuentes energéticas conocidas. Fuente: IDAE.

La demanda de una caldera no es constante casi nunca (es decir, funciona muy pocas veces a plena carga durante el año), ya que se suele requerir una mayor producción de agua caliente para calefacción en enero que en marzo, y para ACS es a las 7:00 h más que a las 14:00 h del mismo día.

La potencia base es la que calienta el edificio cuando más frío hace por temporada. La potencia instalada es fija (la única producción en régimen constante) y superior a la potencia base al menos en un 20%, porque tiene en cuenta las pérdidas de carga y de rendimiento. La potencia demandada varía en cada instante, es decir, determina la producción a cargas parciales con un quemador modulante. Se necesita que el rendimiento sea lo suficientemente elevado a cargas parciales.

Los tres diferentes tipos de calderas son: estándar, de baja temperatura, y de condensación. (Se ha resumido la información correspondiente de la asignatura Instalaciones industriales, módulo Climatización, profesor José Antonio Sedano, UEM.)

- La caldera estándar cuenta con una temperatura en hogar siempre superior a la de condensación de los humos húmedos de la chimenea (120°C), para evitar los condensados (calor latente) que puedan corroer su estructura. Es la 1ª generación de calderas, cuando bastaba con que la temperatura media de funcionamiento se limitase a la de diseño. La temperatura de impulsión en condiciones normales es 70-90°C, y la de retorno a más de 55°C. El rendimiento disminuye bastante en cargas parciales, y el rendimiento estacional es inferior al 88%.
- La caldera de baja temperatura puede funcionar con temperaturas en hogar inferiores a la del punto de rocío de los humos, para satisfacer la demanda real de calefacción. Las pérdidas de rendimiento (por radiación y convección) de la envolvente de la caldera dependen de la temperatura en hogar (operativa de la caldera). Puede operar en continuo mientras se alimente con agua a 35-40°C (temperatura también del retorno). Es la 2ª generación de calderas, que experimenta un descenso progresivo de la temperatura de impulsión en función de la demanda de los elementos terminales (radiadores), pero también es capaz de funcionar a temperatura constante en 45°C ante la demanda de fancoils. El rendimiento estacional aumenta cuantas menos paradas tiene la caldera, y no supera el 95%.
- La caldera de condensación no tiene límite de temperatura mínima de retorno al hogar, pues aprovecha una gran parte del calor latente de los humos húmedos que salen por la chimenea -como se ha comentado-, pero además como los humos salen a menor temperatura, la caldera tiene menos pérdidas. Toda la estructura y componentes de esta caldera están diseñados para aceptar la condensación, y por cierto esta caldera es vertical (como si se rotara 90º en sentido horario). Es la 3ª generación de calderas, que experimenta un descenso progresivo de la temperatura de impulsión en función de la demanda de los elementos terminales (radiadores), pero funcionar mejor a temperatura constante en 30-40°C porque así es como logrará esa alta tasa de condensación y aumentará el rendimiento, ante la demanda de fancoils, suelo radiante, bombas de calor, etc. El rendimiento aumenta porque esta caldera aprovecha la diferencia del PCS (asociado al calor latente) menos el PCI (asociado al calor sensible). La caldera de condensación es más común para gas natural y para biomasa, porque éstos no contienen azufre, el punto de rocío [°C] de los humos es lo suficientemente elevado, y la relación PCS/PCI es lo suficientemente alta también,

dando mayor rendimiento como consecuencia. Su rendimiento estacional ronda los 106-120°C.

La bomba de calor, por su parte, tiene la capacidad de “transportar” o transmitir el calor que absorbe del medio más frío (con su evaporador) hacia el medio más cálido para calefactar (con su condensador, cuando cede ese calor recogido) el interior de una estancia, mientras circula por su ciclo un fluido refrigerante. Primero, se explicará una analogía curiosa, y luego se enfocará todo al funcionamiento de la máquina.

Como concepto, la bomba de calor puede explicarse de forma análoga a una bomba elevadora de agua presurizada, a su vez análoga a una batería eléctrica, en cuanto a:

- El elemento impulsador según qué flujo:
 - La bomba elevadora motorizada se alimenta con energía eléctrica e impulsa agua a mayor presión;
 - La batería se alimenta eléctricamente y toma las cargas [culombios, C] a bajo voltaje, realiza trabajo sobre ellas y las impulsa a alto voltaje;
 - Y en la bomba de calor, es el compresor el único elemento alimentado eléctricamente que impulsa el refrigerante, elevando la presión de éste.
- El elemento resistente al flujo de la corriente:
 - En hidráulica, habría un estrechamiento en la tubería que reduciría la sección y por tanto, reduce la presión porque aumenta la velocidad del agua;
 - En el circuito eléctrico, (sólo para generar una diferencia de voltaje entre dos nodos, de la que obtener una potencia de la que se obtendría energía eléctrica) habría una resistencia que en definitiva dificultaría el paso de la intensidad eléctrica por la rama;
 - Y en el ciclo de la bomba de calor, habría una válvula de expansión que reduciría bruscamente la presión de la carga de refrigerante (en estado líquido), con lo que según Bernoulli, se está produciendo un estrechamiento en la tubería que provoca una mayor velocidad del fluido refrigerante (en estado mezcla L+V).

Véase la ilustración 35.

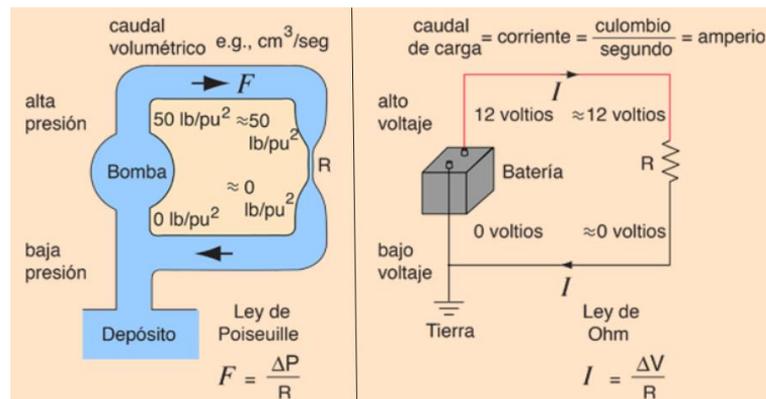


Ilustración 35 Analogía bomba elevadora de presión del agua con una batería eléctrica. Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/watcir.html>

Como máquina, la bomba de calor se comporta acorde al ciclo directo de Carnot termodinámico. Se aclara que **cuando el circuito de componentes opera en sentido antihorario, se tratará del ciclo invertido o inverso de Carnot**. Se han consultado los libros de la Bomba de Calor por la Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización AFEC y el libro Acondicionamiento del aire y refrigeración de Carlo Pizzetti.

La bomba de calor no consume ningún tipo de combustible fósil, ni emite ningún tipo de contaminante directo hacia el exterior, pero sí es alimentada por la red eléctrica (que puede mejorarse en alguna proporción si se conecta la máquina a una instalación fotovoltaica o eólica, incluso hidroeléctrica) y requiere un mantenimiento preventivo en relación a la reposición de refrigerante y correctivo ante la mínima probabilidad de fuga. Pero los resultados de los proyectos que la han aplicado, muestran que cada kWh cuesta más barato al mes que una caldera de gas, gracias al COP nominal de la máquina.

El COP (coeficiente de rendimiento del condensador, el modo calefacción) nominal es determinado como el cociente entre el calor generado por el condensador y el trabajo eléctrico requerido por el compresor, y suele ser de 2,5 o superior (se han visto COPs de hasta 8, y eso si es que no los hay mayores actualmente). Lo que significa esto es que, por cada 1 kWh de energía eléctrica que consume el compresor de la bomba de calor, la máquina es capaz de producir (condensador) 4 kWh de energía térmica, porque el otro intercambiador (evaporador) ha obtenido del ambiente exterior los otros 3 kWh térmicos de forma gratuita y renovable. De hecho, el EER es la eficiencia del evaporador (el modo refrigeración).

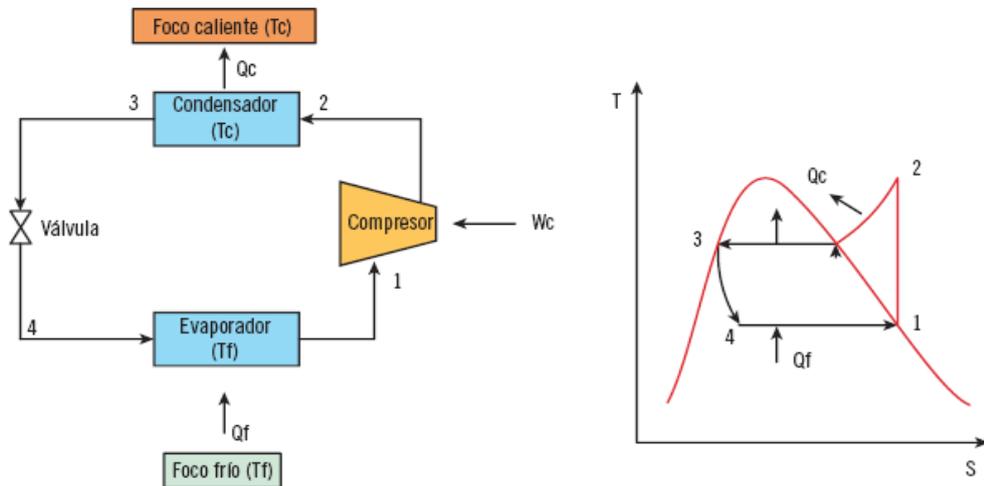
Los elementos que componen un ciclo de bomba de calor en sentido horario son: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. Cambiará de sentido el caudal de refrigerante gracias a una válvula reguladora de tres vías, lo cual determinará el carácter reversible, pudiendo operar como bomba de calor (ciclo directo de Carnot, cede calor al

interior) y como máquina frigorífica en verano (ciclo inverso de Carnot -antihorario, cuando el compresor va hacia el evaporador-, absorbe calor del interior y lo lleva al exterior). El refrigerante, debido a las subidas y bajas en los parámetros principales de presión y temperatura -entre otros como entalpía, caudal, entropía, etc.- pasará por fases líquida y gaseosa a través de según qué elementos:

- El **compresor** -estados 1 (Vapor saturado, subíndice en tablas de Mollier g) a 2 (Vapor sobrecalentado)- **eleva la presión** al comprimir gas (temperatura también incrementada). Esto se conoce como proceso de compresión isoentrópica (entropía específica s [kJ/kg·K] constante), y esa presión de alta es la presión de condensación.
- El **condensador** -estados 2 a 3 (Líquido saturado, subíndice en tablas de Mollier f)- es una batería de intercambio de calor o técnicamente llamado un intercambiador cuya misión es ceder el calor al interior de la estancia para terminar calentando el edificio en invierno, estación del año en que el condensador se encuentra dentro del edificio. Esto se conoce como proceso **isobárico** (presión constante p [bares, bar] o [pascales, Pa]), y por ello se mantiene la temperatura (pero se reduce la entalpía h [kJ/kg]).
- La **válvula de expansión** -estados 3 a 4 (mezcla L+V, subíndice en tablas de Mollier fg)- es un dispositivo que **baja drásticamente la presión** (y esta presión de baja es la presión de evaporación) y con ella la temperatura, en un proceso isoentálpico (entalpía constante).
- El **evaporador** -estados 4 a 1- es el otro intercambiador de calor cuya misión es absorber el calor del medio exterior para terminar enfriando el edificio en verano, estación en la cual esta batería se encuentra dentro del edificio. Es un proceso **isobárico** (presión constante), a temperatura constante, pero en el que se aumenta la entalpía.

Véase la ilustración 36.

Ciclo de refrigeración por compresión



Tc: temperatura del foco caliente
 Tf: temperatura del foco frío
 Qc: calor cedido al foco caliente
 Qf: calor cedido al foco frío
 Wc: trabajo aportado al compresor

Ilustración 36 Ciclo termodinámico de Carnot de la bomba de calor. Fuente: reader.digitalbooks.pro.

Cuando la máquina funciona como bomba de calor, el condensador está dentro del edificio para calefactarlo y el resto de componentes fuera del mismo en un recinto compacto en la cubierta del edificio. Cuando la máquina funciona como enfriadora o circuito frigorífico (lo que se denominará chiller en inglés), será el evaporador el que esté dentro del edificio para refrigerarlo o acondicionarlo, y el resto de componentes fuera.

Se ha expresado así porque una misma bomba de calor puede ser reversible a una máquina frigorífica, o bien se puede comercializar una chiller y una bomba de calor, ambas individualmente con sus funciones.

Finalmente, cabe destacar que, aunque el diagrama de Mollier a la derecha de la ilustración 36 muestra un ciclo termodinámico de Carnot ideal, permite tener una referencia clara sobre el funcionamiento de ambas máquinas por compresión presupuestadas en el proyecto.

Para concluir este apartado, se exponen las siguientes **diferencias fundamentales**:

- ✓ Las calderas eléctricas fueron de las primeras, y por lo tanto hoy están en desuso. No confundirla con una bomba de calor, ya que la caldera eléctrica producía calor con resistencias eléctricas (por efecto Joule), lo cual daba un rendimiento que en el mejor de los casos alcanza sólo el 40%. La bomba de calor aunque sí se alimente eléctricamente, produce calor por el intercambio entre un fluido refrigerante y alguno de estos tres posibles medios: aire, agua o tierra (de ahí que se llame, respectivamente, aerotermia, **hidrotermia** y geotermia).
- ✓ El rendimiento de una caldera es el cociente de potencia útil sobre la potencia en hogar (nominal), es decir, potencia absorbida entre potencia aportada. La diferencia de la potencia nominal de la caldera como máquina menos la potencia útil calorífica, da como resultado las pérdidas de energía calorífica que se disipa al ambiente. Dicho rendimiento tenderá a 1 (100%) y es el análogo al coeficiente de eficiencia de la bomba de calor en calefacción estacional SCOP pero éste es notablemente superior. Como regla general, una máquina será más eficiente cuanto menos potencia necesite consumir [kW] en comparación con la potencia que genera, y ésta es la justificación básica del $SCOP > 4$ normalmente (400%) de la bomba de calor. Por ello, es más eficiente y más respetuosa con el medio ambiente que la caldera.
- ✓ La diferencia asociada al nivel de servicio entre una caldera y una bomba de calor, reside en que la caldera sólo da calefacción y ACS, mientras que la bomba de calor es capaz de dar calefacción, ACS y/o refrigeración (si los usuarios han instalado fancoils).

La ilustración 37, muestra de forma esquemática pero muy clara la diferencia entre una caldera tradicional centralizada en el caso de una universidad, comparado con un sistema de bombas de calor para dar calefacción, con un aporte de energía eléctrica renovable y almacenamiento de tanto energía térmica como eléctrica durante las horas valle.

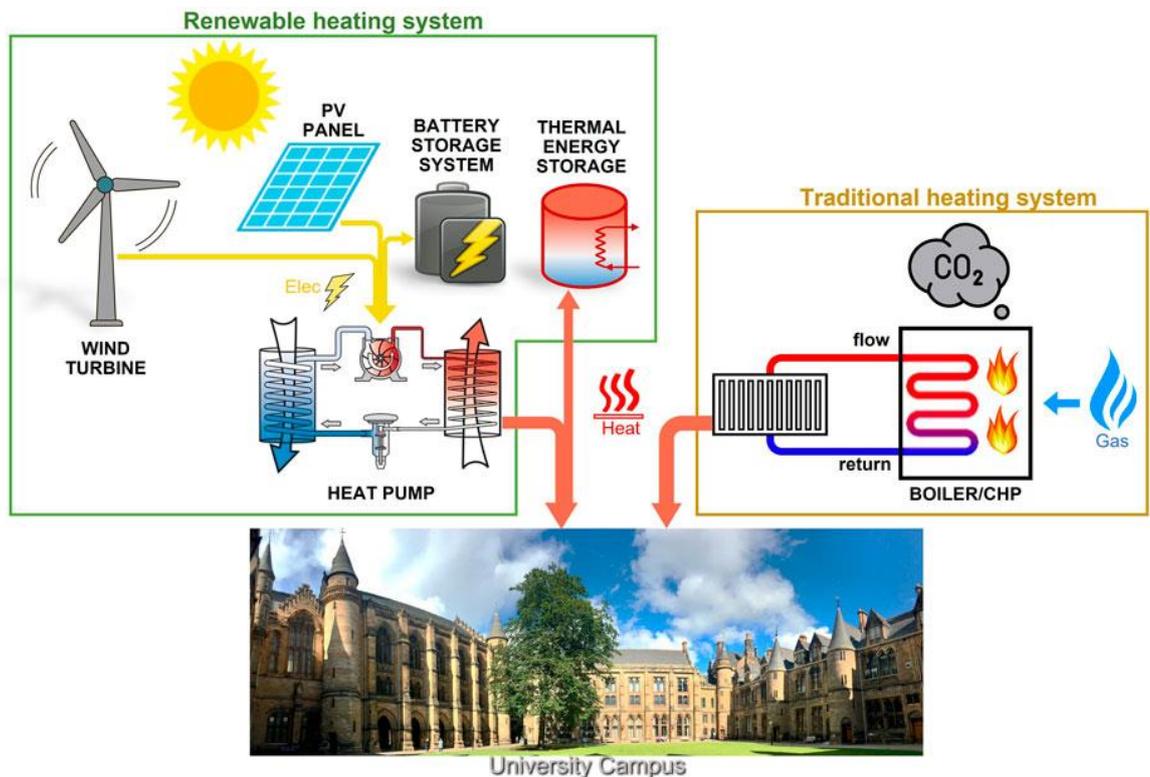


Ilustración 37 Esquema de BdC+FV vs caldera en una universidad. Fuente: Frontiers.

3.2. TEORÍA DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

A continuación, se explica lo estudiado y conocido hoy respecto a las tecnologías seleccionadas para este proyecto y por qué.

3.2.1. TEORÍA DE CENTROS DE DATOS

Debido a que el mundo de los Centros de datos es una industria muy exclusiva con su información, es muy difícil encontrar en internet fuentes fiables o verificadas. Por este motivo, todo lo explicado a continuación es resumen de lo estudiado durante el curso “Diseño de Sistemas de Climatización en Data Centers” del ponente Ricardo Abad (de la empresa Quark) para Atecyr (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración), en formato videoconferencia con una duración de 8 horas, los días 8 y 10 de noviembre de 2022, en horario de 15:00 a 19:15h. El material estuvo basado en proyectos reales de la empresa Quark, dedicada completamente a climatización de Data centers. [22]

En términos simples, los datos que hoy en día toda persona que tenga un dispositivo electrónico y confíe en el mismo para almacenar documentos, mensajes, archivos multimedia, etc., de hecho son subidos a la nube/cloud, y ésta se “aloja” en un inmueble o edificio físico denominado Centro de procesamiento de datos (CPD), o en inglés Data center (DC).

Cabe destacar que para abreviar se llama Centro de datos, o por las siglas CPD directamente.

La función de este edificio es dar servicios de alquiler de servidores a empresas y a particulares, guardando sus datos y archivos personales en la nube durante la duración del contrato del alquiler. Como referencia, 30 MW eléctricos son consumidos por el CPD (por sus racks de servidores) para continuar dando servicio (de almacenamiento y gestión de agrupación de datos) a unas 150.000 personas. El CPD promedio tiene un retorno de la inversión TIR = 18%, según Brainsre.news en 2021. [25]

Las tipologías típicas, algunas en desuso y otras muy utilizadas actualmente, son:

- En función de su tipo de cliente:
 - Edge DC (al margen, marginado) está alejado del ciudadano, con lo que va construido dentro de aeropuertos u hospitales.
 - Corporate DC es propiedad y es operado por empresas privadas (una compañía de seguros) o instituciones gubernamentales (Banco). Es in-house (en vez de externalizado). Está en desuso.
 - Colocation DC es propiedad y es operado por empresas inmobiliarias proveedoras de espacios y recursos del propio CPD.
 - Managed services DC ofrece la posibilidad a terceros de gestionar los servicios. Un ejemplo es contratar Amazon Web Services, que se encargará de mantener la disponibilidad de espacio, de energía eléctrica para almacenar los datos, y en definitiva de asegurar las perfectas condiciones (temperatura de los servidores, aire filtrado, seguridad, protección contra incendios PCI).
 - Cloud DC o DC for Interscaler es el más usado en 2022. Se pueden crear sus propios DC (escalable), distribuirlos y dan servicio a sus clientes mediante un proveedor externo (gestión). Es una especie de mezcla de los anteriores.

- En función de su arquitectura, configuración o tamaño: Cada vez que se queda corto un tamaño de CPD, se pasa al siguiente tamaño.
 - DC pequeño (a nivel local) es un departamento de informática (IT) de la empresa, no muy profesional a nivel riesgos. En desuso.
 - DC tamaño medio es ya un edificio especialmente diseñado para uso CPD, desde que se introdujeron mejoras que el pequeño nunca tuvo, como un pasillo adyacente para circulación externa a la sala de racks, una sala de UPS (o SAI en español, Sistema de Alimentación eléctrica Ininterrumpida), convirtiendo al CPD en un entorno más profesional.
 - En la planta baja, suele haber lo que se llama Sala de energía, que contiene las baterías de las UPS (de plomo antes, ahora son de litio y pesan mucho). Si hay varias salas de energía en el CPD, se distribuyen por peso de tal manera que cada planta no supere los 300 kg/m².
 - En la planta primera, se encuentra la Sala de racks o Sala IT, con el pasillo adyacente a las unidades climatizadoras **CRAHs/CRACs*** de aire.
 - La planta segunda es similar a la primera, y podría incluir oficinas.
 - En cubierta, se colocan las máquinas que abastecen a las climatizadoras que mantienen la temperatura adecuada de los servidores dentro de los racks y a climatizar las oficinas, principalmente (lo cual no quiere

- decir que se deban limitar a sólo este servicio y, como este proyecto, pueden abastecer a un barrio de Madrid).
- DC tamaño grande (p.ej. Telecom, en Portugal, del 2012). Su sistema de climatización se sirve del apoyo adiabático con paneles de celulosa, tiene una altura de 7-8 m entre forjados (se entiende que habrá algún falso suelo y/o techo), y como consecuencia las cargas que aguanta son superiores por planta. Como referencia, el CPD de ejemplo tiene 1.400 empleos, un generador fotovoltaico de 1.610 módulos, 260 racks de servidores, incluso un sistema de recuperación de agua de lluvia, 10 MW de acometida eléctrica.
 - Mega DC puede tener unos 40.000 m², una acometida eléctrica de 50 MWe, para dar 30 MWe a servidores, y el resto a 30 grupos electrógenos (y a sus depósitos subterráneos de gasóil/diésel), a 26 chillers agua-agua, y a 52 dry-coolers para hacer free-cooling indirecto.
 - Campus de DC, donde el terreno y la potencia son ahora para 3 o 4 edificios interconectados, como es el caso de DATA4 en Madrid.

***CRAHs/CRACs:** CRAH es una unidad de control o gestión del aire de la sala de servidores (computer room air handler), y CRAC es una unidad de aire acondicionado de la sala de servidores (computer room air conditioner). Mientras la **CRAH** tiene un intercambiador que **reduce el calor** del aire que regresa de la sala IT cuando intercambia calor con el **agua** que circula por el serpentín y que viene de la chiller evaporada por agua; la **CRAC** tiene un compresor mecánico que hace circular **refrigerante** para enfriar el aire que introduce a la sala IT.

La tendencia es que los CPDs son cada vez más grandes y complejos, ya que aplican nueva tecnología I+D+i. Por primera vez en la Historia, una disrupción tecnológica se ha originado a nivel usuario (redes sociales) y ya después las empresas vieron los beneficios económicos y de cambio y desarrollo (reingeniería de procesos) que obtendrían si se incorporaban. La mayor ventaja de estos tiempos es la seguridad, porque las licencias de acceso a softwares en la nube han sacado la piratería de la ecuación. La relación que tiene este hecho con los CPDs es que ahora la conexión a internet está más controlada y pueden utilizarse más servicios online porque todo está conectado entre varias empresas.



UPDATE
 Market size value 2020: 199,4 billions \$
 Revenue forecast 2027: 308,7 billions \$

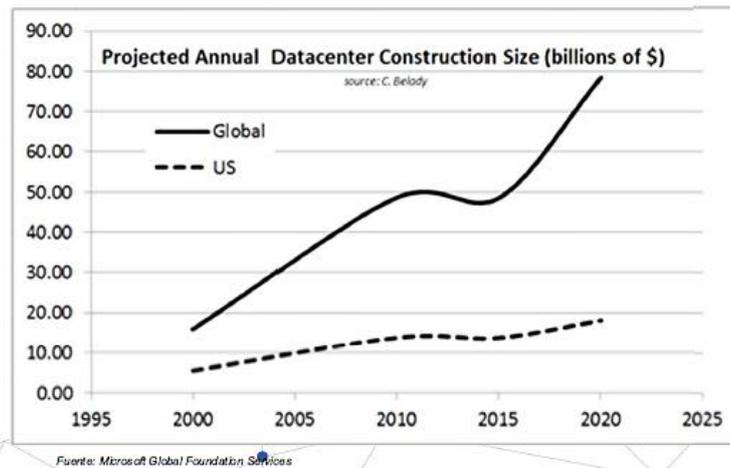


Ilustración 38 Demanda del mercado de CPDs. Fuente: Curso de Atecyr.

Según el gráfico de la ilustración 38, que fue publicado entre 2010 y 2015, y se estaba analizando la previsión a 2025; se observa que “199,4 billions \$, 2020 Market size value” (1 billón americano = 0,95 mil millones europeos en realidad) entonces casi 189.000 M€ se invirtieron en construcción de CPDs hasta la pandemia de 2020, y un 30-40% más “308,7 billions \$, 2027 Revenue forecast”, es decir 293.000 M€ se prevén que se invertirán desde hoy hasta 2027. Se puede decir que hay una gran apuesta en los próximos 15 años por los CPDs.

Según KIO Networks en 2022 [26], que parece muy fiable no sólo porque está actualizado sino porque menciona el Uptime Institute, la inversión de un CPD típico TIER III, es de \$23,000/kW; es decir caso 22.000 €/kW, y en el caso de este TFM con el Global Switch TIER III y su capacidad de 24 MW, se estima que se invirtieron alrededor de 528 millones de € para su construcción. En algunas páginas españolas, como CloudMasters, se ha leído que la inversión en un nuevo CPD es de 8.000 €/kW, con lo cual en España serían 192 M€. La conclusión a la que se ha llegado es que hay que valorar los m² en función del continente y el país, pues los PIB son muy diferentes. La alta inversión que ha de hacerse en un CPD, comparado con otro inmueble, es debida en un 40-50% a los equipos críticos de montaje (chillers, equipos de expansión directa, grupo electrógenos, trafos, UPS) en función de la resiliencia y la potencia a entregar.

Esta industria está regida por SPAIN DC es la Asociación Española de Data Centers que publica datos relativos a la cantidad de CPDs construidos por el mundo, así como a las decisiones tomadas en el sector, dirigido a los especialistas y profesionales.

En la ilustración 39, se ve bastante claro todo lo que hace que un CPD funcione, y aunque está en francés la imagen, se ve cómo tiene alimentación eléctrica de la red, las subestaciones transformadoras reductoras de muy alta tensión a alta o media tensión (AT/MT) que alimenta a los transformadores, a las UPS, a los grupos electrógenos y su combustible fósil, cámaras de seguridad para control de acceso, iluminación, servidores en la sala IT, y condensación por aire del calor disipado por las enfriadoras colocadas en el exterior del edificio.

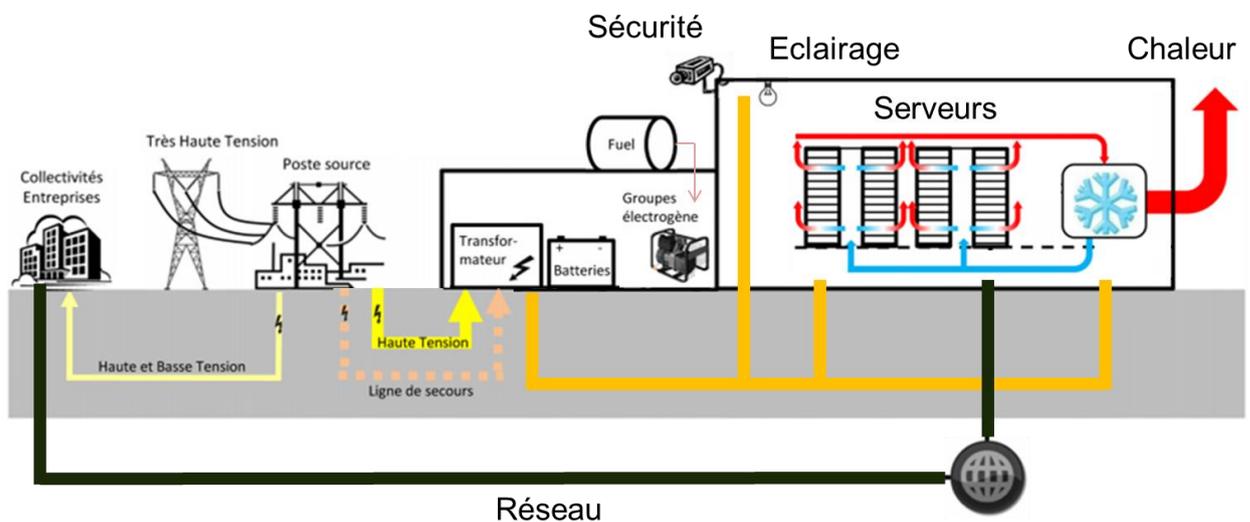


Ilustración 39 Red eléctrica, alumbrado, equipos críticos y sala IT de un CPD. Fuente: IGM.

Los proyectos de climatización de CPDs calculan y dimensionan los equipos (máquinas en la cubierta) para cubrir las cargas térmicas de la sala IT y sala de energía eléctrica UPS. Pero antes de comenzar cualquier proyecto de esta índole, lo que se tiene en cuenta es que hay que mantener el CPD en sus dos características básicas:

- robustez (funcionamiento 24/7 y sin fallos)
- resiliencia (cuatro o cinco categorías Tier de resiliencia del Uptime Institute para las cuales pueden llevarse a cabo actividades de mantenimiento sin interrumpir el funcionamiento del resto del CPD).
- seguridad a nivel físico (fácil accesibilidad, limpieza, controles de acceso, eficiente diseño de las instalaciones en el edificio).

El calor disipado en la sala IT por los servidores se diseña para una alta densidad de potencia o densidad de carga por m^2 : $3000 \text{ W}/m^2$ para servidores (pero depende del CPD), $+100 \text{ W}/m^2$ típico en edificios de oficinas. En un CPD, las cargas son mayoritariamente sensibles (pocas son latentes) debido a la disipación de calor de máquinas, servidores, equipos, etc. Es corriente encontrarse cuando se busca en internet el término “unidades de precisión”, y se refiere a las cargas del CPD. El diseño de baterías y el caudal de aire por cada kW es muy superior a otro ámbito de terciario o residencial (unidades de confort, en las cuales el 50% es carga latente). No son comparables. De hecho, la evolución de la densidad de carga en CPDs del mundo ha indicado que hoy $160.000 \text{ W}/m^2$ es el máximo, $1000\text{-}2000 \text{ W}/m^2$ el mínimo, y lo normal son $3000 \text{ W}/m^2$ o más (cada década se incrementa).

Esta carga se mantiene constante (24/7), consumiendo su correspondiente cantidad de energía, motivo por el que está tan valorada la eficiencia energética de los equipos de climatización (tema que marca la diferencia en la industria por la innovación de proyectos en los concursos de licitación, porque si la innovación presentada es rentable en un CPD, lo será aún más en otros edificios ordinarios). El sector de CPD como industria es muy agradecido con la **eficiencia energética innovadora** porque la amortiza rápido (alto TIR), por la cuenta que le trae con sus exigencias de funcionamiento.

ASHRAE (American Society Of Heating, Refrigerating and AC Engineers), la asociación análoga a Atecyr en América, tiene un comité técnico TC 9.9 que publica guías de las condiciones térmicas de una sala IT con título “The Thermal Guidelines for Data Processing Environments”, la cual desde 2015 contó con la validación de los fabricantes (IBM, Oracle, ...) para que asociación y fabricantes trabajaran juntos en las mejores formas de climatizar CPDs. Esencialmente, establecía los rangos de temperatura recomendados y los mínimos permitidos según los fabricantes, medidas para reducir el consumo energético y sus condiciones más favorables, consecuencias en caso de trabajar con temperaturas no aptas, cuantificación de la vida útil de los equipos informáticos en función de sus datos de funcionamiento, etc. En el diagrama psicrométrico, lo recomendable en 2015 era moverse entre 18 y 25°C , así se redujo tanto la humedad que hizo despreciables las cargas latentes.

La norma s/TIA 942 (standard, estándar americano) es probablemente la que más aparece en internet cuando se busca información sobre TIERS (nivel de fiabilidad de CPDs). Esta norma trata de la infraestructura, del cableado estructurado más que de la climatización, y no es de obligado cumplimiento. Ha imperado como la única verdad durante muchos años. Lo relevante en esta norma es el Anexo F, que hay que leer como guía informativa de informáticos y telecom, ya que define las redundancias (equipos de reserva/respaldo a los principales para garantizar la continuidad) en muchos niveles TIER. El problema es que dichos TIER de la TIA 942 no tienen nada que ver con la resiliencia porque sólo destaca el número de redundancias a instalar y muestra una metodología demasiado simple para las exigencias de

un CPD. En 2012, esta norma por fin los simplificó en cuatro niveles TIER, y aún sigue habiendo ediciones de esta normativa.

El estándar s/ Uptime Institute es la auténtica normativa, o por lo menos es la más fiable para seguir. En este caso, se trata de una entidad certificadora privada y no pública, lo que significa que tiene ánimo de lucro (cobran por cada revisión y corrección de un proyecto de climatización de CPD que les sea enviado y por la validación y certificación). Fue creado en 1993 como consultoría, para emitir certificaciones y dar conferencias, naciendo de la idea de que todos los profesionales del sector se comunicaran en un solo lenguaje de clasificación, terminología y criterios de prestaciones en un CPD para poder compararlos y superar expectativas. Fue muy disruptivo, un negocio diferenciador. El profesional bien cualificado diseñará el proyecto justificado los criterios que ha seguido y su efectivamente correcto cumplimiento de los objetivos marcados por el Uptime. Motiva a aprender y demostrar, en vez de a copiar de una tabla como aparentemente es la TIA 942. Es más, cuantas menos redundancias sean necesarias instalar, mayor será el ahorro y la eficiencia en equipos para el proyecto. Así pues, las clasificaciones TIER (esta vez vistas como niveles de fiabilidad y resiliencia de CPDs) del Uptime Institute se basan en: la redundancia (de la capacidad/potencia de los equipos críticos), el diseño creativo de los caminos de distribución frigorífica o calorífica, la posibilidad y gestión del mantenimiento y la respuesta del personal ante un fallo.

Los TIER tienen las siguientes características básicas:

TIER I: Capacidad básica

- ✓ CPD equipado para una capacidad básica N de equipos críticos, luego no tiene redundancia, con lo que todo depende de la máquina seleccionada y su fiabilidad y rendimiento.
- ✓ Es una instalación susceptible a tener cortes (sea por avería o por mantenimiento preventivo) en el servicio IT, porque hay una sola tubería (un solo camino de distribución de la energía). Hay aplicaciones en las que no es tan grave una caída temporal del sistema, por ejemplo en un laboratorio de investigación de universidad, los ordenadores podrán volver a utilizarse el día siguiente.

TIER II: Equipos redundantes

- ✓ Ya se añaden equipos redundantes (N+R) a los equipos críticos principales. Esto permitirá el mantenimiento de algunos elementos o equipos mientras el redundante releva la continuidad del servicio IT.
- ✓ Sigue habiendo un único camino de distribución de energía y los mantenimientos preventivos o averías requerirían paradas.

TIER III: Mantenimiento concurrente. Es el que más se usa hoy.

- ✓ Hay redundancia, y se añade más de un camino independiente de distribución de energía eléctrica y térmica. De este modo, parte de un camino podrá estar inactivo y al no ser el único disponible no supondrá una parada al servicio IT.
- ✓ El equipamiento IT a nivel servidor será tolerante a fallo, logrando esto por alimentación eléctrica a partir de dos fuentes en vez de una.
- ✓ Se exige que los grupos electrógenos (sus motores) tengan asignados un número ilimitado de horas de funcionamiento.
- ✓ Podrá haber riesgo de SPOF (puntos de fallo único en caso de sabotaje).

TIER IV: Tolerante a fallo. Es la máxima categoría (seguridad e inversión).

- ✓ Mayor redundancia, varios caminos independientes de distribución de la energía, y grupos electrógenos con número ilimitado de horas.
- ✓ Habrá compartimentación (de resistencia al fuego o por posibles impactos no previstos) tanto en las salas IT y de UPS como en los caminos de distribución (tuberías o cables). Deberán separarse por seguridad interna del CPD.
Después de un fallo (SPOF), se continuará con la capacidad/potencia N.
- ✓ A nivel climatización, habrá que garantizar el enfriamiento continuo en las salas IT y de UPS, es decir, que siga llegando agua fría a las chillers (para ello, se podrá poner un acumulador de inercia si fuera necesario).
Las unidades climatizadoras CRAHs/CRAChs recibirán el agua por los dos canales posibles.
- ✓ No debería ser necesaria la intervención humana en caso de fallo SPOF. La instalación debe ser autónoma en autodiagnóstico de fallos (ej.: detección de fugas), aislamiento de ese tramo de tubería, y dar orden al resto de la instalación a continuar funcionando con los equipos críticos principales de potencia N (sin tener que recurrir a las redundancias o a las mínimas posibles), y protección preventiva para evitar otra interrupción del servicio IT similar en el futuro.

Un acrónimo muy usado en el sector de CPDs, aunque haya otros más, es la PUE, y fue creado por una organización americana sin ánimo de lucro llamada The Green Grid (la red verde), la cual se dedica a agrupar todas las partes que intervienen y les interesa implementar eficiencia energética en los equipos IT y en el CPD en general.

Como inciso, **mientras el Uptime Institute tiene por objetivo crear una clasificación común de niveles resilientes para verificar el criterio de los profesionales, la Green Grid crea una métrica (indicador) común para analizar y comparar la eficiencia energética de los CPDs.**

Como se iba explicando, la PUE (Power Usage Effectiveness, uso efectivo de la energía) es una métrica o indicador del consumo de los servidores y de todo lo necesario para que funcionen (equipos críticos y unidades climatizadoras, conjunto llamado Facilities o instalaciones), dividido entre el consumo del equipamiento IT (servidores, telecomunicaciones, informática, buses de campo). Es bastante normal que salga >1 , y conviene que tienda a 1 porque cuanto más bajo sea el cociente, más eficiente es el CPD como edificio. Si es inferior a 1, será muy eficiente pero a un alto coste no rentable, por eso hay que valorar todos los factores antes de tomar decisiones. Véase la ilustración 40.

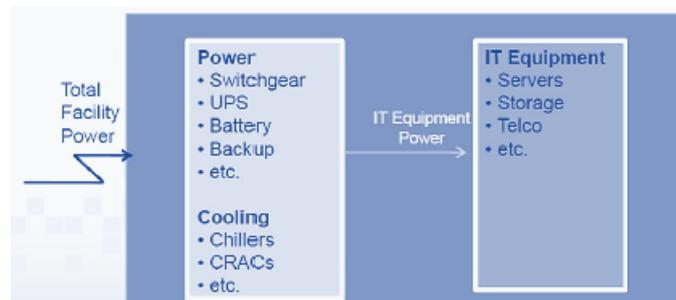


Ilustración 40 Definición de la métrica PUE por The Green Grid. Fuente: Curso Atecyr, Quark.

Un CPD construido antes de 2015 y las guías térmicas de ASHRAE TC 9.9 (luego más ineficiente y con instalaciones más pequeñas), podía tener un PUE de entre 2 y 3 en España, altísimo, lo que indicaba que una mitad se debía a los servidores IT y la otra mitad a las facilities. Se dieron cuenta de que había posibilidad de mejora en refrigeración interna a la sala IT y en UPS para que consumieran menos.

Actualmente, un CPD tiene un PUE de 1,25; pero realmente antes de comparar CPDs hay que ver sus diferentes zonas climáticas (el histórico de temperaturas extremas de los últimos 20 años o más). Un progreso en calidad de PUE se muestra cuando se ha reducido un 30% del consumo (el PUE ha bajado un 30%).

Algo que se aplicará a este proyecto es seleccionar bombas circuladoras con motores a caudal variable, para bajar más su consumo eléctrico ya que mueven tanto caudal como se demande, ni más ni menos.

En conclusión, la PUE es la media anual (de las horas totales 8.760 h/año) del consumo de un CPD. Véase la ilustración 41. (Y sí, también existen cuatro categorías PUE sub 0, 1, 2 y 3.)

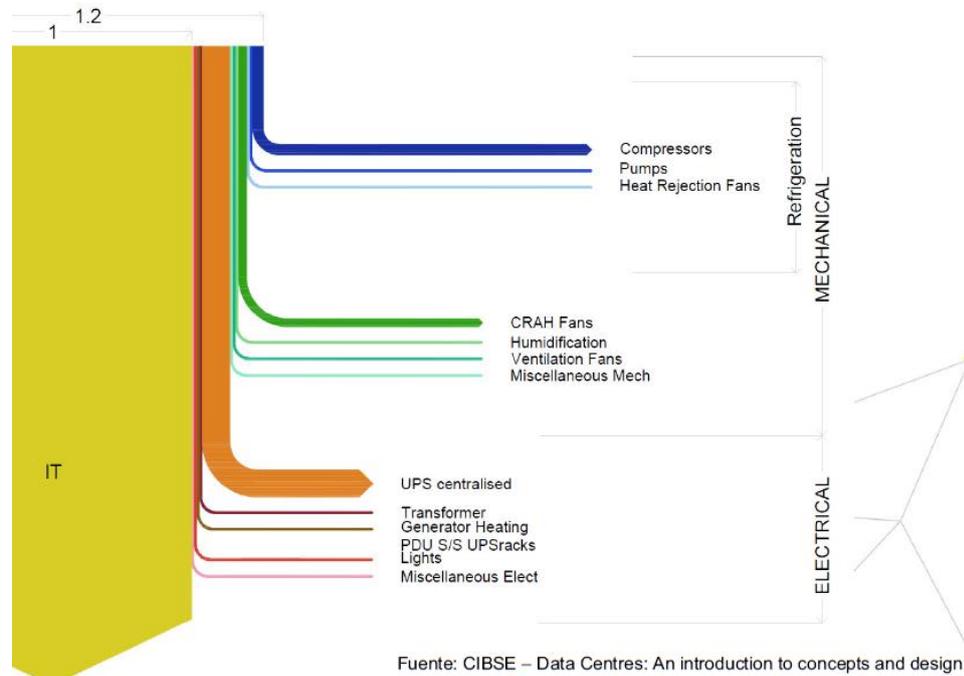


Ilustración 41 Pérdidas energéticas en un CPD para calcular PUE. Fuente: Curso Atecyr, Quark.

Por otro lado, la WUE es la métrica referida al uso eficiente del agua.

Preocupación: La tendencia es uso nulo del agua o al menos no gastar agua, pero además está mal visto el uso de agua al ser un bien cada vez más escaso. Existe la Legionella, los posibles cortes de suministro por una sequía para lo cual se han contratado proveedores de camiones cisterna de agua, etc. Siempre se han hecho sistemas secos para refrigeración y en cualquier caso nunca se ha usado más del 25% del agua para CPDs, que además estaba prevista para un polígono industrial. No obstante, la distribución de agua en circuito cerrado no está mal visto como tal, es sólo que se piensa que se abusaría de la capacidad adiabática.

Respuesta: Lo que está gastándose es energía calorífica evacuada de los condensadores de la enfriadora aire-agua que tienen los CPDs hoy en día. El único agua externa a la instalación (de por ejemplo, un District heating and cooling) es la acometida de AFS que vendría del CPD, que se encarga de llenar de agua los circuitos cerrados que componen la red DHC, empezando desde el condensador de las nuevas chillers. Esa agua que estaba prevista para los polígonos industriales podría servir también de mucho al resto de edificios cercanos al CPD. Según MundoChiller [27], las enfriadoras condensadas por agua duran diez años más que las de aire, sus compresores consumen un 30% menos de energía eléctrica (hacen menos trabajo porque **durante las horas de sol** -piénsese en condiciones termohigrométricas del diagrama psicrométrico; a raíz del comentario del proceso adiabático, que es realizar trabajo sin

intercambio de calor con el exterior- la **temperatura de bulbo húmedo es menor que la de bulbo seco**, y por esta razón la temperatura y presión de **condensación del refrigerante es menor** por agua que en un ciclo que condensa por aire, pero también es porque **las máquinas agua-agua se ubican en interiores** y no expuestas al aire libre, retrasando el deterioro de los componentes de la máquina), ofrecen una mayor eficiencia energética y mayores capacidades (potencias frigoríficas).

Aunque el hándicap de las condensadas por agua sea un mayor costo de mantenimiento al necesitar torres de refrigeración conectadas para evacuar el calor de los condensadores de las máquinas de frío, la función de la chiller por agua + torre + otros elementos, dará lugar a un mejor y amplio servicio a más personas que lo necesitan, además de amortizarse rápidamente. Por otra parte, hay otro parámetro por The Green Grid, llamado ERF, factor de energía reutilizada (sobre la energía total) que sería interesante aplicado a máquinas frigoríficas de condensación por agua.

La ilustración 42 muestra cómo la enfriadora reduce la temperatura del agua con su evaporador para realimentar al intercambiador de la unidad climatizadora CRAH para que pueda refrigerar el aire (que llega al ventilador en la parte superior de la CRAH) más caliente al atravesar los racks de servidores de la sala IT, y el condensador de la enfriadora enviará agua menos fría a la **torre de refrigeración*** que disipará su calor al aire ambiente. (En la imagen, la tubería que va de la CRAH a la CDU es refrigeración inmersiva, una nueva idea de la startup Submer, por tanto supone un paso revolucionario para los que trabajan con los CPDs desde dentro fabricando racks inteligentes básicamente. Pero este proyecto se concentra en estudiar lo que ocurre fuera del CPD, partiendo de lo que se hace ahora en Madrid. Por otra parte, aunque haría este proyecto probablemente más eficiente, se pretendía instalar máquinas estudiadas durante la carrera de Ingeniería en Tecnologías Industriales y aplicarlas de una manera lo más eficiente posible.)

***Torre de refrigeración:** es más pequeña y barata que un dry-cooler, y aunque tenga riesgo de Legionella ya se hacen tratamientos periódicos según el RD 487/2022, de 21 de junio, por el que se establecen los requisitos sanitarios para la prevención y el control de la legionelosis, y antes el **RD 865/2003**, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, donde su **“ANEXO 4: Mantenimiento de torres de refrigeración y condensadores”** evaporativos define con todo lujo de detalles el procedimiento que conlleva el tratamiento.

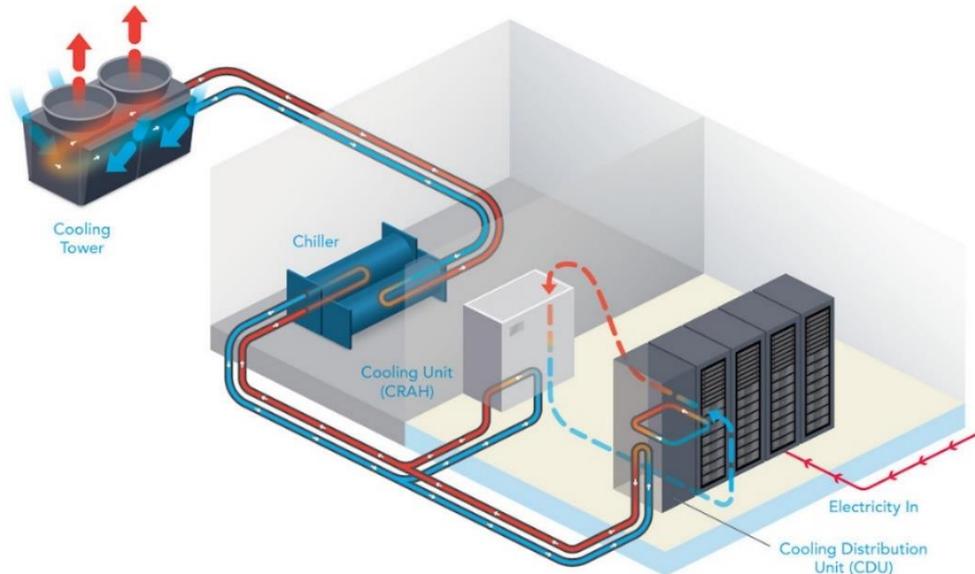


Ilustración 42 Equipos y tuberías de climatización en un CPD. Fuente: Upsite Technologies.

Las opciones de máxima actualidad de refrigeración interna en salas IT de CPDs son:

- Refrigeración por aire o Air coolers
- Refrigeración líquida o Liquid cooling
- Refrigeración por inmersión en líquido o Liquid immersion cooling: consiste en utilizar unos dispositivos (entre los que se hayan modelos comerciales Smartpod y Micropod) capaces de refrigerar componentes eléctricos y servidores con un fluido dieléctrico (aislante eléctrico, conductor térmico). Con esta tecnología innovadora de Submer se aumenta el rendimiento y la eficiencia de transferencia de calor, comparado con la refrigeración por aire, entre otras ventajas. Puede alcanzar 80°C, ahorrando comprar chillers y otros equipos como torres de refrigeración, con lo que este proyecto iría directamente conectado a BCHT.
 - Inmersión en líquido para servidores por fase simple (single phase)
 - Inmersión en líquido para servidores por doble fase (two phase)

La imagen más fiel a la realidad de una sala IT puede ser la ilustración 43, donde se ven los servidores dentro de los racks (que se comercializan en diferentes alturas U del chasis del bastidor, a 4,45 cm por U, y los hay desde 19U a 47U), las rejillas del falso suelo por las que fluye el aire a algo menos de 25°C y atraviesa los racks en ascenso hacia los ventiladores de retorno en un salto de 10-12°C más caliente hacia las CRAHs (en un pasillo contiguo a la sala IT). Como curiosidad, si un gabinete rack estándar 42U de 18 servidores puede tener 10 kW para un TIER III, el Global Switch de este proyecto posiblemente tenga alrededor de 170 racks.



Ilustración 43 Sala IT, con sus racks, rejillas e instalaciones. Fuente: The Financial Express.

Una representación de la instalación de agua entre chillers y CRAHs viene dibujada en la ilustración 44.

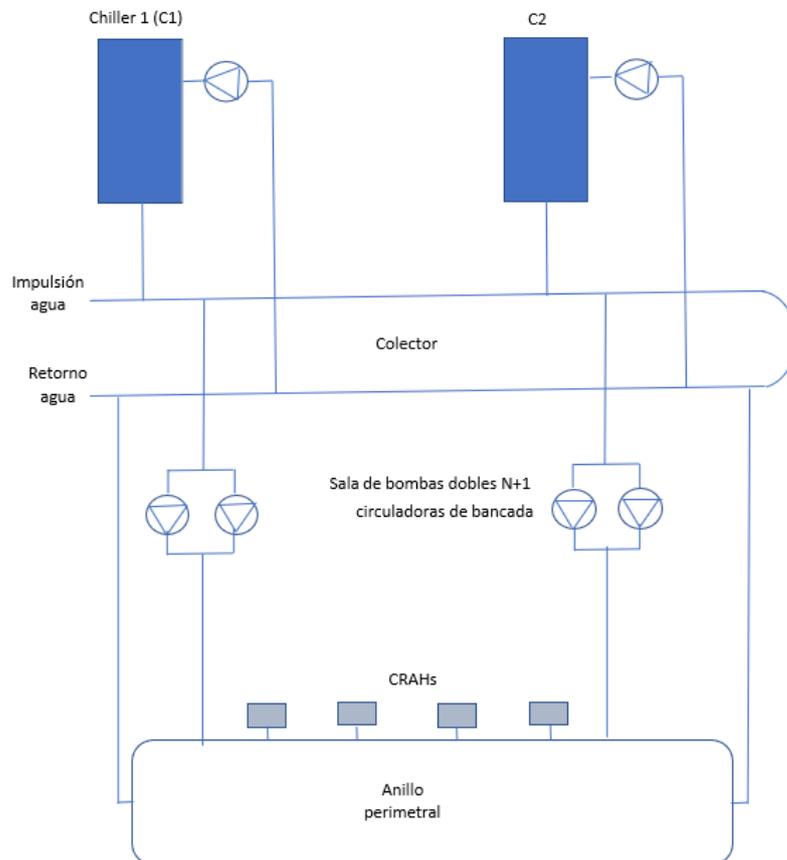


Ilustración 44 Alimentación desde el evaporador de las chillers hasta las CRAHs del CPD. Boceto elaborado en Word.

En resumen, lo fundamental a tener en cuenta para este proyecto es que los CPDs se sirven - para alimentar de agua a los intercambiadores de las CRAHs- de las enfriadoras aerotérmicas (aire-agua) necesariamente ubicadas en cubierta. Se sustituirá una de esas chillers por otra hidrotérmica (que condensa por agua, agua-agua) porque da potencias un 20% mayores (e igual pasa con sus rendimientos estacionales y su eficiencia), durará 30 años, y los costes de inversión (+ mantenimiento de las torres de refrigeración) se amortizarán muy rápido.

3.2.2. TEORÍA DE DISTRICT HEATING AND COOLING

Lo primero a aclarar de este tema es que la red de calefacción y/o refrigeración urbana puede ser para abastecer un distrito, un barrio, una ciudad,... es un término genérico que cambia con la escalabilidad o magnitud de la instalación.

La red DHC se compone de bombas de calor, enfriadoras (máquinas frigoríficas), sistemas de absorción, torres de refrigeración, válvulas, bombas circuladoras, depósitos de expansión (los antiguamente denominados vasos de expansión), acumuladores de inercia, etc. para ofrecer un servicio a más de un edificio, a una comunidad.

Sus terminales son intercambiadores de calor, denominados estaciones o subestaciones de intercambio centralizadas de la red DHC. Análogamente a una sola bomba de calor, que deja uno de sus dos intercambiadores en el interior del edificio y el resto de componentes los deja fuera del mismo, la red DHC se compone de bombas de calor y además otras máquinas. Dicha red utiliza un intercambiador para partir de una determinada energía térmica, con su caudal, presión y temperatura, y por el otro lado no sólo tendrá un intercambiador, sino uno por cada edificio al que quiera abastecer de los mismos servicios que es capaz de ofrecer una bomba de calor (calefacción, refrigeración y hasta ACS) en un circuito de agua.

En la ilustración 45, se muestra en términos de SCOP (rendimiento medio estacional en calefacción, para el que se puede consultar la norma CTE-DB-HE 4.3) una bomba de calor, cuando un porcentaje del 30% que le llega es eléctrico, al cual se le puede restar una contribución renovable (fotovoltaica o eólica, ambas, otras), un porcentaje ambiental del 70% térmico, y sale como resultado el 100% térmico útil para consumo.

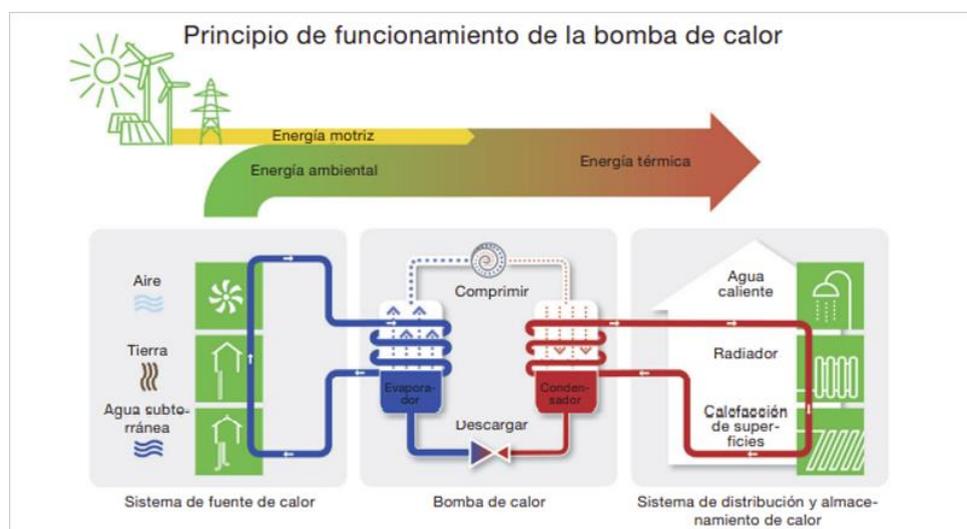


Ilustración 45 Esquema bomba de calor. Fuente: Eeficiencia.

Pues bien, un district heating o red de calefacción urbana puede explicarse como en el modelo de la ilustración 46. Básicamente, en ella tiene lugar una transformación térmica del agua que circula por las tuberías, mediante el uso concatenado de máquinas como bombas de calor, en función de la demanda de los edificios que se vayan a conectar a la red de calefacción urbana, pero lo destacable es que **un intercambiador** (de una de esas bombas de calor) será necesario para **iniciar la instalación** (que constantemente estará evaporando y condensando por agua) pues intercambiará calor con el primer medio de agua que se le suministra desde las unidades climatizadoras del CPD y las bombas circuladoras de agua o bombas hidráulicas. Ese primer intercambiador será el evaporador de la enfriadora por compresión, y enfriará el agua de retorno a las climatizadoras. Posteriormente, en modo calefacción urbana, se irá calentando el agua en un determinado salto térmico, y la red de distrito tendrá al final tantos intercambiadores (cada uno dentro de subestaciones de intercambio) como edificios tenga conectados. Se aclara que **a mayor salto térmico, mayor será el COP** en una máquina que funciona a compresión.

Así es como una red urbana tiene tres zonas, no es necesariamente un ciclo, que son: suministro de agua como medio con el que intercambiar calor, red de transmisión y de distribución (circuito primario) de agua caliente -si es sólo district heating- hacia los consumidores del servicio de calefacción (circuito secundario).

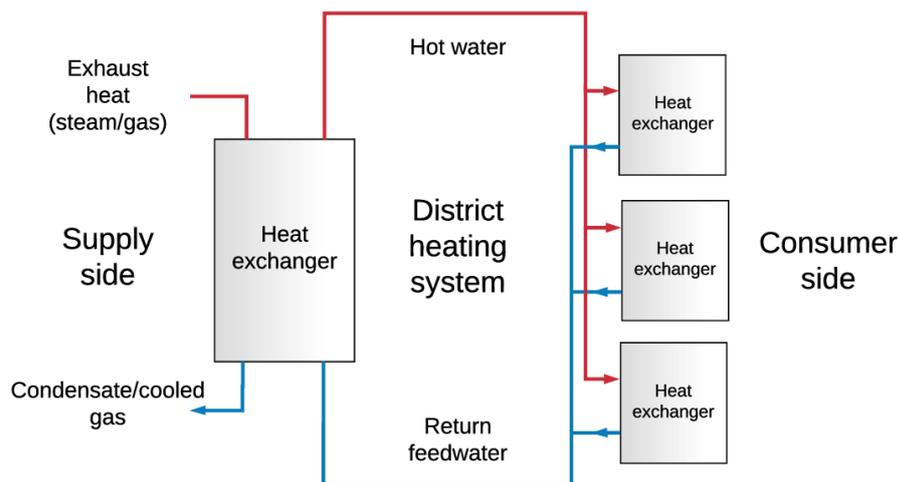


Ilustración 46 Esquema de District heating. Fuente: Semantic Scholar.

Pero DHC no es algo nuevo del siglo XXI.

El suministro de calor desde una fuente central se remonta a Pompeya, en un tiempo en el que los romanos hacían circular el agua caliente hacia las termas mediante canales a la vista de todos.

“En 1877, Birdsill Holly comercializó el primer sistema de district heating en EE.UU., en Nueva York. Como fuente de calor central utilizó una caldera en el sótano de su casa y construyó un anillo con tuberías de vapor, radiadores y líneas de retorno de condensados. Al principio, el sistema tenía 14 clientes y hacia el año 1880 suministraba a varias fábricas y a algunas viviendas nuevas; el sistema de tuberías se extendió hasta alcanzar las tres millas (aproximadamente 4,8 km) de longitud. En 1893, el edificio del Ayuntamiento de Hamburgo, Alemania, instaló un sistema de calefacción aprovechando el calor residual de una central eléctrica. [...] La experiencia con sistemas comerciales de DC (district cooling o red de frío) es más reciente y se desarrolló en EE. UU. entre las décadas de 1960 y 1970. También ha proliferado en Suecia y en algunos países asiáticos, sobre todo en Japón.” [19]

La diferencia del siglo XX a hoy, es que el district heating se considera como una red de tuberías subterráneas a 3-4 m de profundidad en una zanja bajo vías urbanas, para no interferir con las demás tuberías (por ejemplo, las de saneamiento) y conductos de la zona, a dos tubos o incluso a cuatro tubos, pero en esencia uno es para impulsión del agua y el otro es para el retorno del agua una vez ha pasado por los edificios y se ha enfriado unos 5-10°C, y repetirá el ciclo volviendo a calentarse a través de la central.

Aunque el dimensionado de la red DHC sea complejo, la idea básica de funcionamiento es simple: El agua que discurre por las máquinas y elementos de la red va irradiando su calor por medio de intercambiadores consecutivos de las máquinas, impulsada por las bombas circuladoras, y dirigida por las válvulas reguladoras, controlándose así su temperatura apta, caudal (relacionado con la velocidad del agua, que ronda los 2 m/s), y presión (medida en términos de pérdida de carga, alrededor de 30 kPa, 3 m.c.a.), fundamentalmente.

La red DHC puede tener varias tipologías o configuraciones [19]:

- Según el trazado: ramificado o espina de pescado, malla, y anillo.

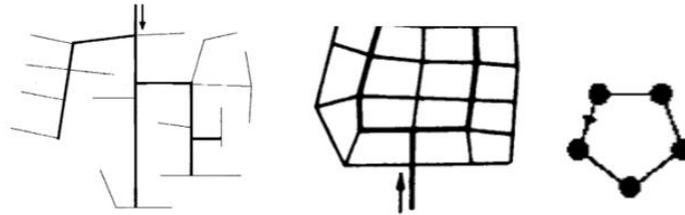


Ilustración 47 Trazado de una red de tuberías urbana. Edición propia de imágenes de DocPlayer.

Como muestra la ilustración 47, el trazado ramificado tiene una respuesta lenta ante avería, porque al parecerse sus derivaciones a las ramas de un árbol, su circulación es en un solo sentido; por ello es común verla en riego. El trazado en malla da posibilidad de conexión a red desde varias vías alternativas en diversos sentidos y desde múltiples nudos de inicio, lo cual encarece el proyecto pero es más fiable conectarse a más de una central.

Este proyecto se realizará con una red en anillo, porque es la solución mixta de los trazados anteriores, ya que empieza como ramificado (directo y abierto) pero el punto de consumo último se conecta a la central para garantizar el suministro continuo “en bucle” o como sistema cerrado (como haría una malla).

Otra configuración atiende al equilibrado hidráulico siempre y cuando la instalación es centralizada (lo cual es la DHC), para el cual hay dos tipos de **retorno**: directo e **invertido**. Como se observa en la ilustración 48, el retorno invertido implica que la longitud de la tubería en la ida a cada terminal es distinta de la de retorno del mismo, porque el agua continúa su recorrido hasta el último terminal (subestación de intercambio del último edificio) antes de volver a pasar por la central o sala de máquinas de este proyecto. De esta manera, lo que **se consigue es que todos los terminales queden a la misma longitud de tubería respecto de la central o sala de máquinas**, y la explicación física es que la pérdida de carga total (relacionada con la longitud cuando es lineal) de todos los terminales será la misma aproximadamente y ello significará que se sumarán unos 4 m.c.a. de pérdida de carga correspondiente al último intercambiador de la subestación del último edificio a la pérdida de carga sumatoria de la ida y el retorno para dimensionar la bomba circuladora principal de la red DHC. Con el **caudal** acumulado de agua siendo el **adecuado** -fiel al calculado- **en todos los tramos** (porque el agua experimentará la misma dificultad para atravesar cada uno de los terminales), debido a que - en suma- hay la misma longitud a recorrer por el agua en la ida que en el retorno invertido acumulado para cualquiera de las subestaciones, la red está **equilibrada hidráulicamente**, precisamente por el diseño del retorno invertido, en sentido contrario que lo haría el retorno directo.

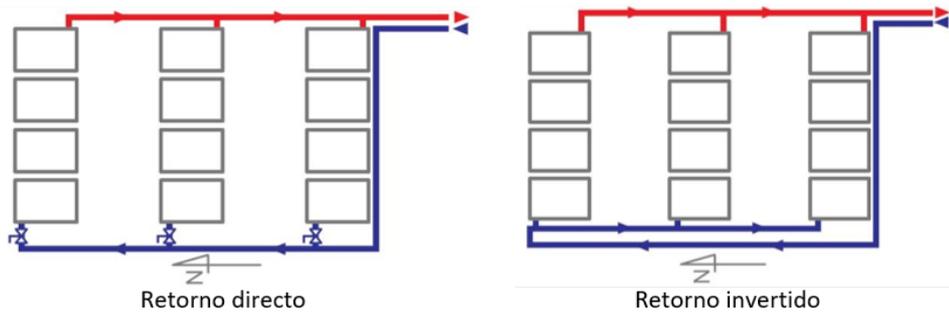


Ilustración 48 Justificación del retorno invertido en un sistema a dos tubos. Fuente: Issuu.

- Según la cantidad de tubos o según los circuitos: desde monotubo a cuatro tubos.

En este proyecto basta con que se haga a dos tubos la red, aunque el único inconveniente (que en realidad sólo es ir a lo práctico y realista) sea que uno de los dos tubos sólo da agua caliente (para calefacción de locales secos y húmedos) o agua fría (para aire acondicionado de locales secos), y el otro tubo es el retorno.

De ser a tres tubos, el tercero sería el retorno común a los otros dos; y la red a cuatro tubos, tiene la mayor flexibilidad posible como se puede deducir, y es la que mayor inversión requiere.

- Según los sectores abastecidos: residencial (viviendas y residencias) y comercial (oficinas, centros comerciales, polideportivos, ... a este sector también se le llama terciario), o industrial (polígono de naves industriales).

Según el CTE-DB-HE, la curva diaria de consumo de las viviendas es, hasta cierto punto, complementaria con el de las oficinas, mientras que en el sector industrial (naves), las temperaturas de operación son más altas, pero los fluidos caloportadores pueden ser o vapor o CO₂, por lo que no se ha incluido este perfil de demanda en este proyecto.

Los usuarios tendrán dos posibilidades:

- **Partiendo de que tengan radiadores: Instalación centralizada con una subestación de intercambio de sólo district heating, con una caldera de sólo ACS auxiliar o un interacumulador durante los meses de verano.**
- **Partiendo de que hayan apostado por conectarse también a la red de frío, instalando fancoils: Instalación centralizada con una subestación de intercambio mixta de district heating y district cooling.**

Por otro lado, el control en la red DHC vigila las lecturas de las medidas que dan los sensores en lo referente a temperatura del agua, presión en las bombas circuladoras de agua, el correcto sentido del caudal y magnitud del caudal (así pudiéndose conocer la pérdida de carga lineal en la tubería) y el seguimiento por parte los usuarios. Véase la ilustración 49.

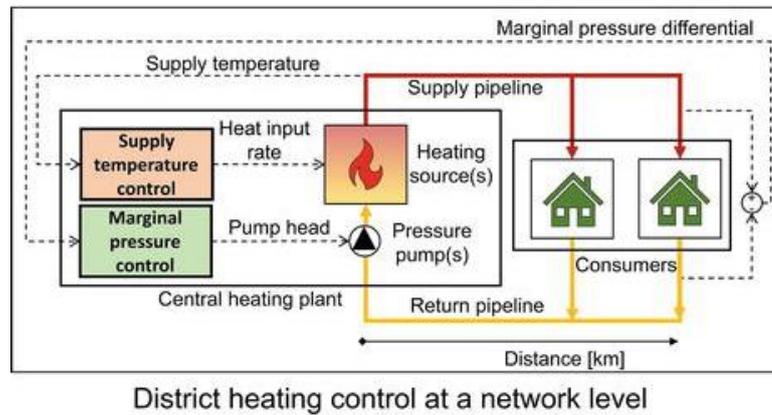


Ilustración 49 DH a nivel red. Fuente: IntechOpen.

El control que conlleva la conexión de la subestación de intercambio de la red DHC a los terminales del usuario en su vivienda, partiendo un cambio en la demanda reflejado en un cambio en el termostato, se refleja en la ilustración 50.

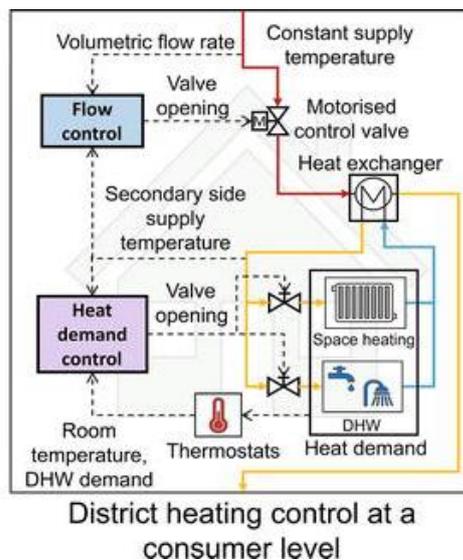


Ilustración 50 DH a nivel usuario. Fuente: IntechOpen.

En 2023, sólo tiene sentido diseñar redes de 5ª generación de District heating and cooling, pues lo que la diferencia de las cuatro anteriores es su conectividad a más tipos de edificios e inclusión de más sectores industriales, y por la posibilidad de modificar el servicio que da cada subestación de intercambio para su edificio independientemente de las otras conectadas a la misma red 5GDHC. En la ilustración 51, se demuestra que la red es de 5ª generación, en cuanto a residential heating and cooling, data center, comercial buildings involucrados, y heat storage (en el tanque acumulador de inercia).

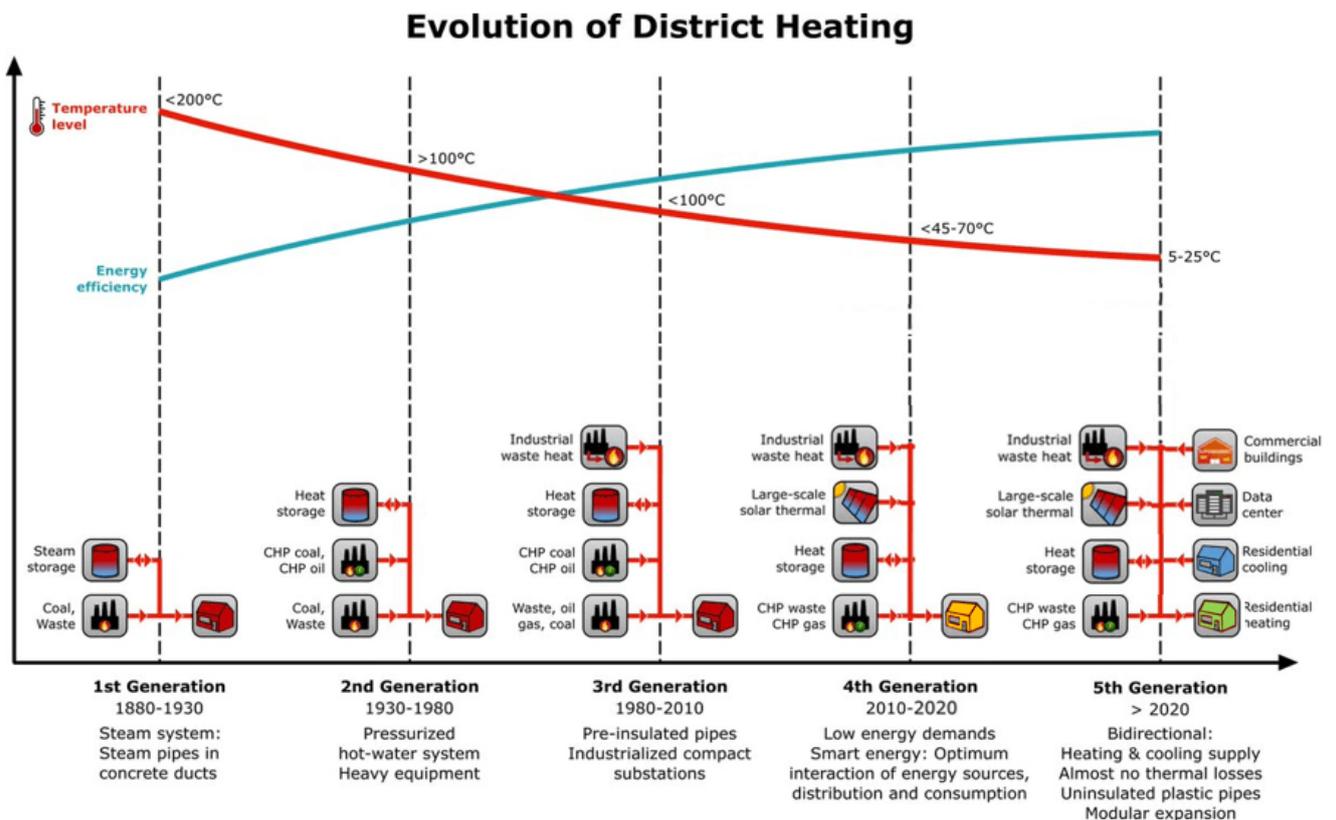


Ilustración 51 Comparación con la 5ª generación de DHC. Fuente: Ecovat.

Como introducción a la subestación de la red DHC que se instalará en los edificios, reemplazando a la caldera que hubiera, se explicará primero qué es el componente principal de una subestación de intercambio: el intercambiador de calor, en concreto de placas.

Es sabido en la industria de la climatización que un intercambiador de placas es más eficiente y liviano que el tubular (también llamado intercambiador de carcasa y tubos), porque tiene placas metálicas adyacentes y corrugadas (es decir, con crestas paralelas que por el ángulo que tienen terminan en pico en el punto medio de la placa) que aumentan la turbulencia del flujo del fluido, retrasando el ensuciamiento, y dando menos problemas en general. Consta de un paquete de placas y de una estructura de barras de soporte. Cada placa tiene una disposición o diseño diferente de la otra y se les ponen letras para diferenciarlas entre ellas y con los marcos a los extremos del intercambiador. Las conexiones a las tuberías de agua suelen ser de caucho o de metal. Una representación sencilla puede ser la de la ilustración 52.

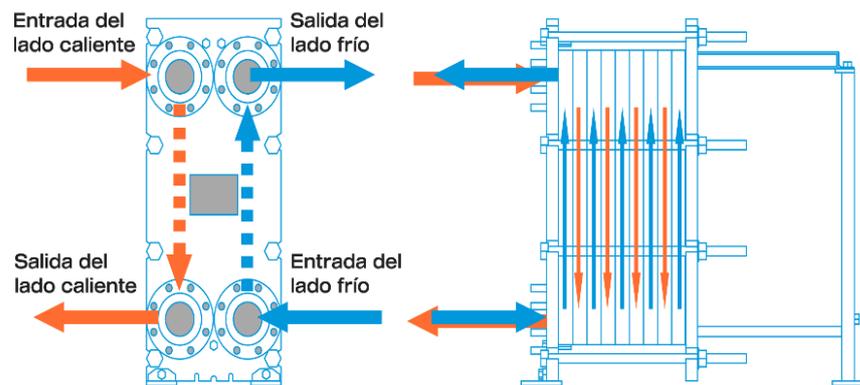


Ilustración 52 Intercambiador de placas. Fuente: Arsopi-Thermal.

La subestación de intercambio de una red DHC se comercializa como lo presenta Sedical en la ilustración 53, y lleva todo el control, sondas, contador y valvulería incluidos.

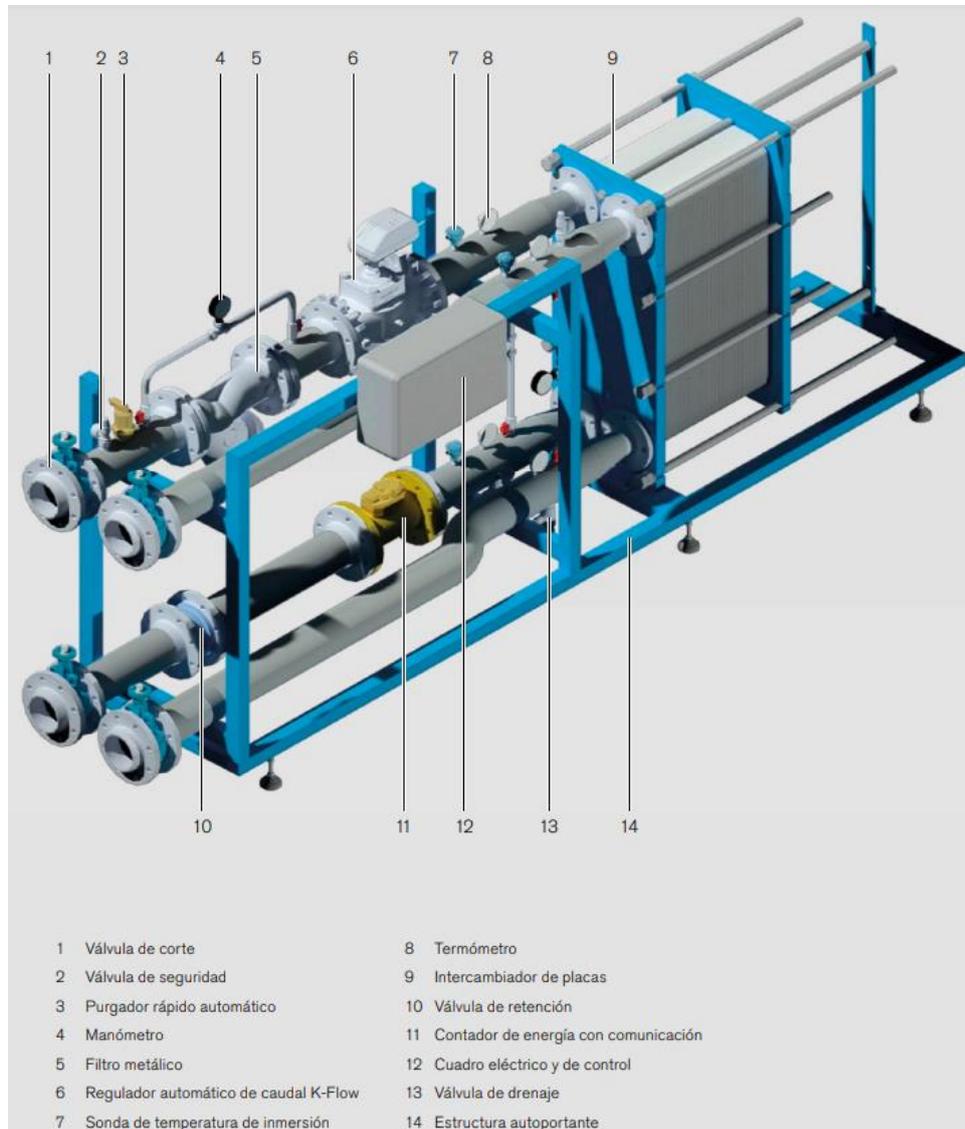


Ilustración 53 Subestación de intercambio en 3D. Fuente: Catálogo Sedical.

Para facilitar la vista de la subestación, se ofrece el dibujo técnico con la ilustración 54 la subestación en dos dimensiones.

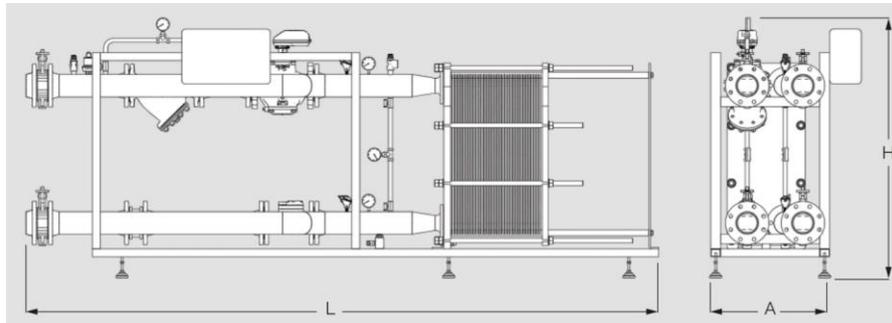


Ilustración 54 Vista en alzado y perfil de una subestación. Fuente: Catálogo Sedical.

Según el catálogo de Sedical, los intercambiadores en modo **cooling (en verano)** tienen un **salto térmico típico de 8,5°C** (pero no obligatorio, ya que se pueden pedir por encargo en función de lo que se necesite), de 15,5 a 7 °C en el circuito primario (del cual se encarga la máquina de absorción, que tiene ese u otro salto térmico entre 7 y 10°C de diferencia), y de 14 a 5,5 °C en el secundario.

Los intercambiadores en modo **heating (en invierno)**, el **salto térmico típico es de 20°C**, de 70 a 90°C en el primario (con lo cual si la red de este proyecto alcanza 85°C por la bomba de calor de alta temperatura, es perfecto), y de 55 a 75°C en el secundario (a consumo de usuarios, que incluso supera los 60°C usuales de las calderas para evitar la bacteria Legionella). El tamaño de un intercambiador puede ser de 2 m de largo x 1,3 m de ancho x 0,5 m de alto, y hasta 3,2 m de largo x 2 m de ancho x 0,7 m de alto, pudiendo tener un diámetro nominal de 80 hasta 150 mm, por lo general.

Como representa la ilustración 55, desde la central de este proyecto (sala de máquinas presupuestada, en parcela de terreno anexionada al CPD) una vez se llegue a los edificios por medio de las tuberías, se colocará una subestación de intercambio mixta (ambas, centralizada en el edificio y distribuida a las estancias) para heating y para cooling, gracias a que la red es a dos tubos. El circuito secundario de dicha subestación alimentará mediante tuberías con un determinado salto térmico de ACS a los grifos (en baños y cocinas) y de calefacción a los radiadores (y también aire acondicionado si apuestan por los fancoils innovadores) en cada planta del edificio.

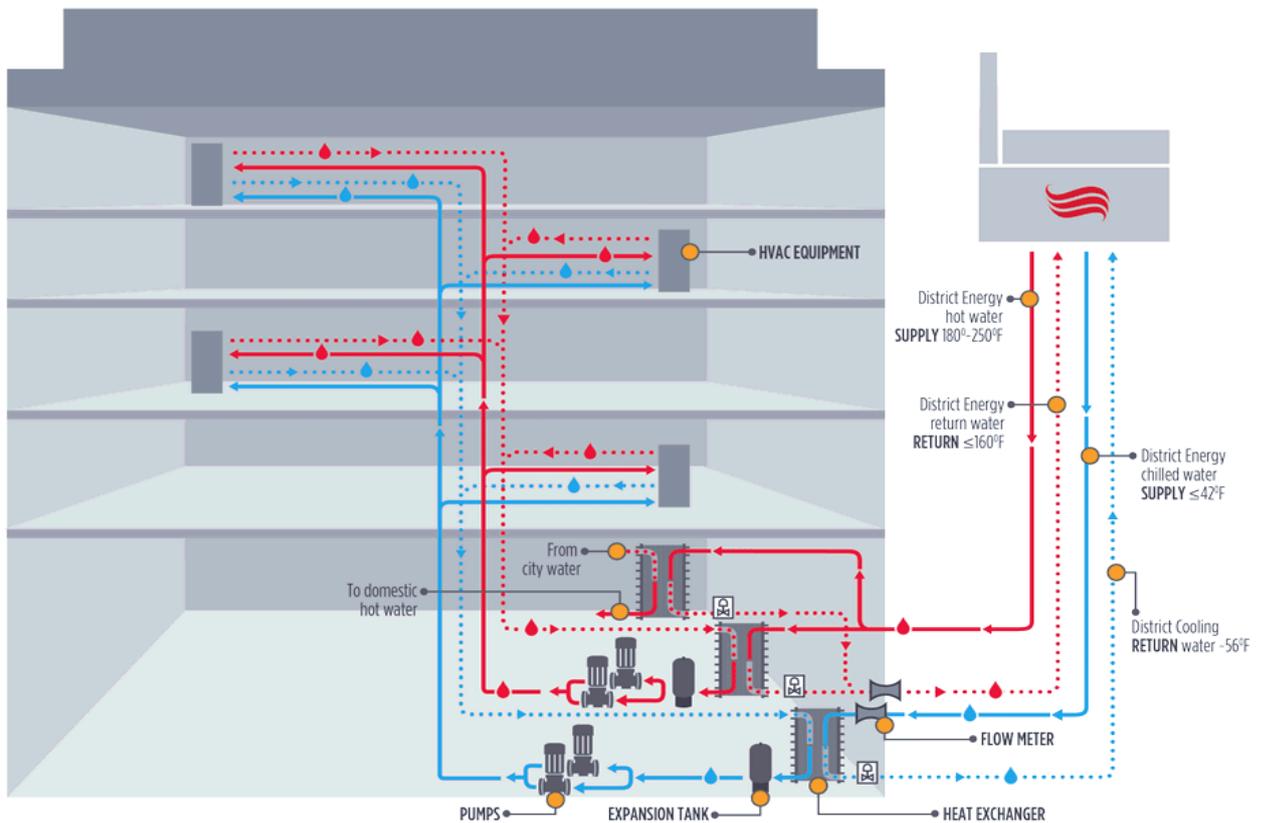


Ilustración 55 Red a cuatro tubos con dos subestaciones de calor y frío a estancias. Fuente: District Energy St. Paul.

Comparativa de ofertas para los consumidores

Lo que este proyecto ofrece es una instalación eficiente, rentable y sostenible de una misma subestación de intercambio mixta (tanto para DH como para DC) y ofrece refrigeración en verano si los usuarios reemplazan sus radiadores por fancoils como elementos terminales (sugerencia a la Propiedad pero fuera del alcance del proyecto), quedando en cualquier caso como muestra la ilustración 56, como alternativa a la instalación convencional de caldera centralizada para sólo calefacción con terminales radiadores de la ilustración 57. Al final, en este proyecto no se está comparando el ACS, pues se considera -como es habitual- que en los edificios ya hay un interacumulador de ACS cuyo circuito secundario va a los grifos de los locales húmedos.

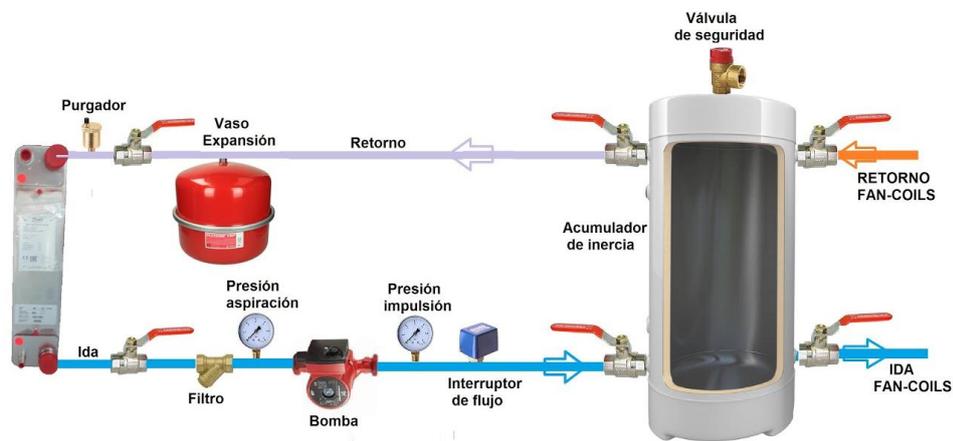


Ilustración 56 Sugerencia de instalación dentro de los edificios (subst. a grifos+fancoils). Fuente: YouTube José Ángel Lana.

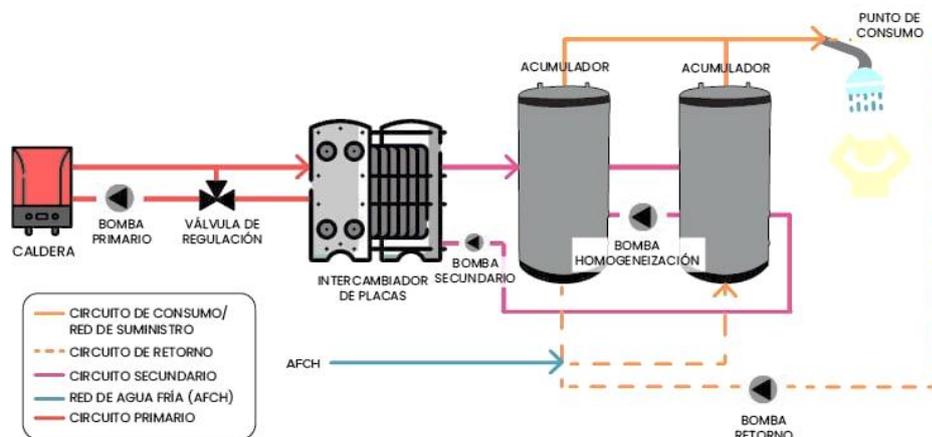


Ilustración 57 Instalación actual convencional dentro de los edificios (caldera a grifos+radiadores). Fuente: Hydronik.

La diferencia que hay entre un radiador convencional y un fancoil es que el radiador funciona un 80% por convección natural, un 20% por radiación y por él circula (conducción) sólo agua caliente a alrededor de 65-80°C; mientras que el fancoil está preparado para recibir agua caliente típicamente a 45-50°C en invierno y agua fría a 7°C en verano, además de tener un ventilador y una batería mixta (porque sólo es necesario un intercambiador cuando la instalación es a dos tubos pero dos si fuera a cuatro tubos).

Por lo tanto, aquellas viviendas y oficinas que no quieran cambiar sus radiadores por fancoils, no podrán tener aire acondicionado proveniente de la DHC de este proyecto y tendrán que usar su propio equipo AC split, pero en ambos casos podrán tener servicio calefacción, como se ha mencionado.

De otro modo, si bien es cierto que en el barrio Rejas la mayoría de edificios son anteriores a 2006 y seguramente utilicen radiadores (a 70/65°C, ida/retorno), la Propiedad de cada edificio bien podrá instalar un fancoil de alta eficiencia, por ejemplo el de la marca JAGA, modelo Briza22 de falso techo (para conducir a todas las estancias de la vivienda). Las temperaturas a las que suele operar el JAGA Briza 22 (a dos tubos) son las de la ilustración 58, y por lo general los fancoils funcionan a 45/40 °C. Su ventaja principal con respecto a un radiador es que es del mismo tamaño si se compra en montaje superficial de pared, o incluso menor, pero mucho más eficiente y con doble aplicación (calor Y frío).

Emisiones Jaga Briza 22 empotrado 2-tubos

Nivel velocidad	Control voltaje	* Potencia calefac.				* Potencia refrig. 50% RH	
		75/65/20	55/45/20	45/35/20	35/30/20	Sensible	Total
						7/12/27	16 /18/27

Ilustración 58 Temperaturas agua de fancoil para viviendas. Fuente: Manual Información técnica de JAGA.

La mejor opción siempre será el suelo radiante (por cuyos tubos circula agua para emitir aire caliente, y si es refrescante, aire frío), pero las alternativas algo menos eficientes aunque mucho más prácticas si no se quiere desmontar los forjados y simplemente instalar un terminal en el espacio, serán fancoils y el último caso, radiadores de baja temperatura.

3.3. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA – ESTE PROYECTO

La visión general de este TFM se puede expresar según se plantea en la ilustración 59, la cual representa exactamente el alcance del proyecto.

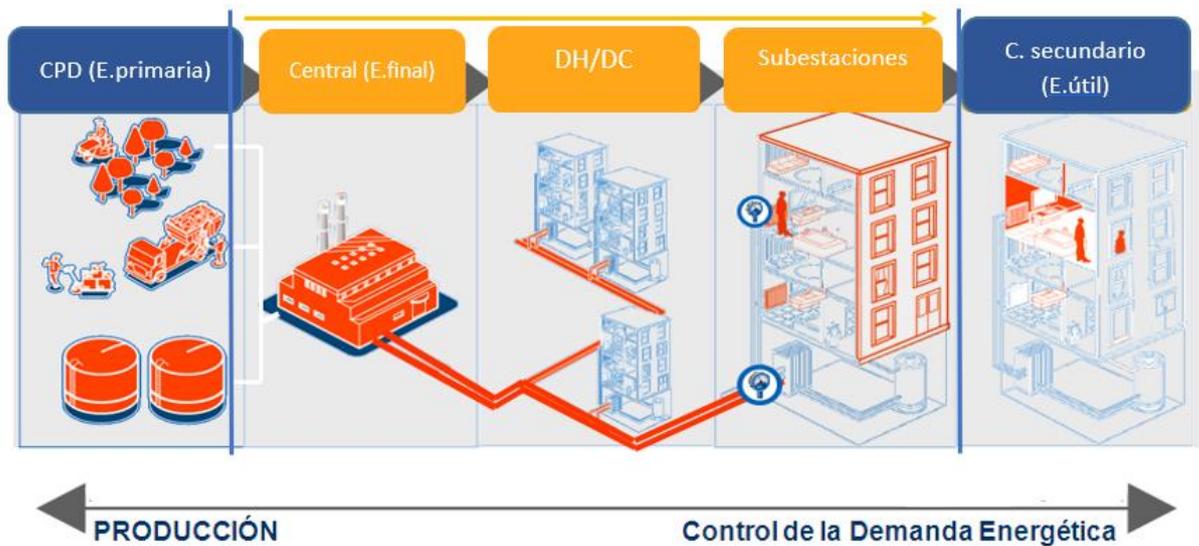


Ilustración 59 Esquema visual del TFM. Edición propia sobre la fuente Ecoenergías Barcelona.

Por alcance, el proyecto comienza por la chiller y no desde la instalación interior del CPD.

Se aprovecharán las bombas circuladoras que tuviera el CPD conectadas la chiller aire-agua, antes de sustituirla por la chiller agua-agua de este proyecto (luego, se supondrá que tienen la misma capacidad frigorífica y caudal). Se partirá de una chiller agua-agua de compresor centrífugo y velocidad variable (caudal variable) para devolver el agua más fría al CPD a 13/6 °C (con su evaporador), y logrando un agua más caliente a 31/24 °C en el circuito secundario con el condensador.

Como inciso, para las subestaciones de intercambio de la red DHC se ha establecido un salto térmico de 7°C (intermedio entre el usual es 5°C y el más eficiente es 10°C incluso 15°C). Para las máquinas de la red DHC, podrán o bien dejarse los saltos que ya vienen con el fabricante, al menos a la hora de dimensionar las bombas circuladoras de agua, o podrán pedirse al fabricante por encargo, con otro salto que se considere más apropiado y que esté acordado.

Entre medias de la chiller y las siguientes máquinas, se instalarán un acumulador de inercia que asegure el continuo funcionamiento para el CPD y un depósito de expansión que ayude a absorber la dilatación del agua a presión.

Las siguientes máquinas encargadas de elevar la temperatura (con su condensador) por encima de 77°C en la ida para el district heating, por tanto 85/78 °C, serán las dos bombas de calor de alta temperatura (BCHT).

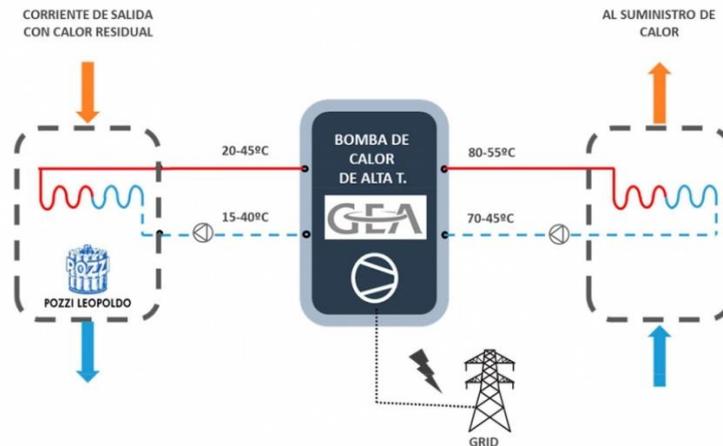


Ilustración 60 Funcionamiento de BCHT. Fuente: Interempresas.

La BCHT debería dar más de 5,30 de SCOP (Madrid tiene zona climática D) si se quisiera elevar la temperatura hasta 60°C (véase la ilustración 64), por lo tanto para elevar la temperatura hasta 85°C deberá tener un SCOP de 6 o 7. La máquina más potente que se ha encontrado tiene un SCOP = 2,26 y es de Carrier, pero garantiza que mantendrá el agua a esos 85°C el 75% del tiempo de funcionamiento. Así que no se considerará renovable por el gobierno a menos que se alimente en alguna proporción con energía fotovoltaica, la cual alimentará a las demás máquinas que consuman una cantidad notable de energía eléctrica.

Fuente Energética de la bomba de calor	COP mínimo para calefacción y/o ACS a 60°C				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica Equipos centralizados	5,23	5,66	5,66	6,08	6,08
Energía Aerotérmica Equipos individuales tipo split	6,89	6,66	6,66	7,12	7,12
Energía Hidrotérmica	4,59	4,75	4,92	5,30	5,66
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	4,35	4,49	4,70	5,04	5,37
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	3,66	3,69	3,86	4,09	4,40
Energía Geotérmica de circuito abierto	3,47	3,50	3,69	3,90	4,17

Ilustración 61 Prestaciones de SCOP mínimo para zona climática D de Bdc hidrotermia renovable. Fuente: Anexo I, IDAE.

Desde esta BCHT, se llegará a un colector de agua que unificará los caudales para de nuevo garantizar el continuo funcionamiento, y el agua seguirá su curso impulsada por las bombas dobles N+1 de la red DHC hasta cada una de las subestaciones de los edificios.

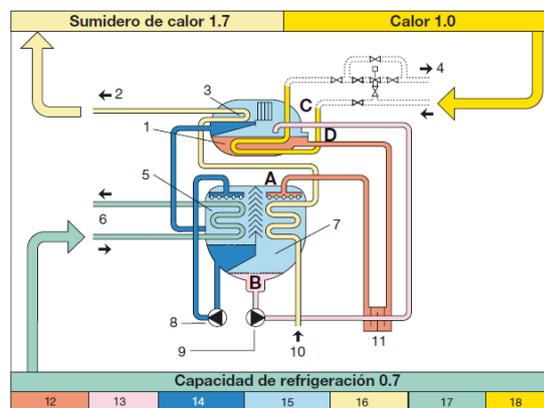
Si la válvula de tres vías, cortara la vía directa del DH para abrir la vía alternativa, conducirá el agua caliente a esos 85/78 °C al generador de la máquina enfriadora por ciclo de absorción.

Se aclara que en este proyecto se trabajará con dos tipos de máquinas frigoríficas o enfriadoras de agua (la acción de refrigerar el agua la hace el evaporador como se ha explicado anteriormente) famosas en el mercado industrial, atendiendo a su modo de compresión: la chiller por compresión mecánica, y la máquina por ciclo de absorción. La segunda funciona con un generador de sales, por tanto involucra no sólo termodinámica sino también química y puede llegar a ser mucho más complejo de comprender y de explicar en función de la profundidad. La clave está en entender que el compresor sólo comprimirá e impulsará refrigerante distinto al agua, y una bomba circuladora comprimirá e impulsará sólo agua. La máquina de absorción utiliza agua porque es uno de los mejores refrigerantes al ser un compuesto limpio, de fácil disponibilidad y gran capacidad de refrigeración por sus predecibles cambios de estado (pues es fácilmente controlable alterando la relación presión-temperatura).

Por otra parte, el absorbedor tiene la función de mantener la presión baja para que el refrigerante se mantenga frío de manera rentable. En cuanto a las sustancias de sales (solución absorbente), la mejor es bromuro de litio (BrLi). La sal se mantiene en estado líquido debido precisamente a que la comprime e impulsa una bomba hidráulica. La sustancia absorbente es considerada solución fuerte cuando está formada con una mayor proporción de absorbente que en refrigerante, y circula por la tubería desde el generador al absorbedor; es solución débil cuando la descripción está enfocada al revés que la fuerte. Con estas premisas, el ciclo de absorción de simple efecto y calentamiento por agua caliente, quiere decir que en vez de servirse de un **compresor** mecánico que impulse a alta presión el **refrigerante gaseoso al condensador** para transformarlo en líquido; utiliza agua como refrigerante y una solución química diluida de bromuro de litio LiBr como absorbente, después una **fuerza de calor externa** al generador (que podrá ser por vapor, por quemador de gas, o -como en este proyecto se va a hacer- por agua caliente proveniente de las BCHT) calienta la solución refrigerante+absorbente para desprenderlos uno del otro (absorbiendo el calor latente de la evaporación del refrigerante) y así solo el **refrigerante vapor llegará al condensador**.

*“El vapor de agua desprendido va al condensador donde vuelve a condensarse en líquido, transfiriendo el calor al agua de la **torre de refrigeración**. Una vez condensado, el refrigerante líquido se distribuye por los tubos del evaporador, eliminándose el calor del agua enfriada y vaporizándose el refrigerante líquido. La solución de LiBr concentrado del generador pasa al*

absorbedor, donde absorbe la solución del refrigerante vapor del evaporador y la diluye. La solución de LiBr diluida se bombea de nuevo al generador donde vuelve a empezar el ciclo.” – Catálogo de la máquina 16LJ rango de modelos 11-53, de Carrier Sanyo. Véase la ilustración 65.



Leyenda

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Generador | 10. Intercambiador de calor |
| 2. Agua de refrigeración | 11. Agua de refrigeración |
| 3. Condensador | 12. Solución concentrada |
| 4. Agua caliente | 13. Solución diluida |
| 5. Evaporador | 14. Solución líquida |
| 6. Agua enfriada | 15. Vapor refrigerante |
| 7. Absorbedor | 16. Agua de refrigeración |
| 8. Bomba de refrigerante | 17. Agua enfriada |
| 9. Bomba de absorbente | 18. Agua caliente |

Ilustración 62 Esquema básico del ciclo por absorción de simple efecto. Fuente: Carrier Sanyo.

La necesidad de disipación de la máquina de absorción puede alcanzar 1,8 en el condensador (que viene a ser un 40% más que el condensador de una chiller). La máquina de absorción consume energía calorífica por el generador, produce energía frigorífica -hacia el district cooling en este proyecto- por el evaporador, y disipa el calor del condensador hacia la torre de refrigeración.

Además, se cita del libro Acondicionamiento del aire y refrigeración (1971) de Carlo Pizzetti, pues lo explica realmente bien: “*Empleando una solución absorbente a una presión de vapor lo suficientemente baja y manteniéndola a la temperatura y concentración necesarias, se puede lograr que la presión de vapor del absorbente sea inferior a la del refrigerante en el evaporador; es decir, la solución absorberá el calor latente del refrigerante (en ebullición/vaporización) que proviene del evaporador, obteniendo el efecto frigorífico deseado de la máquina. [...] El punto de ebullición de la sal (que a temperatura ambiente se encuentra en estado sólido) es tan elevado que por eso se comporta como una sustancia no volátil. Esto explica la simplicidad constructiva (tiene dos elementos cilíndricos superpuestos, el inferior encierra el evaporador y el absorbedor, y el otro encierra el generador y el condensador), larga vida útil (15 años) y el elevado rendimiento de las máquinas de*

***absorción de LiBr** con respecto a la otra sal alternativa agua-amoniaco (con un punto de ebullición menor)”.*

Para completar la red DHC, habrá dos tipos de depósitos de expansión, dos en el mismo tramo crítico de tuberías (entre chillers y BCHTs) que el acumulador de inercia, y uno con bomba a motor que alivia a toda la red DHC.

Las entradas del sistema de control serán las sondas de control y de medición, y las salidas serán los principales actuadores: los servomotores de las válvulas, y los motores de las bombas circuladoras.

3.4. JUSTIFICACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

En un principio, se estuvieron valorando zonas de CPDs que necesaria y principalmente tuvieran edificios residenciales muy próximos. Más tarde, se incluyeron edificios comerciales porque se tenían los conocimientos, el software apropiado para el cálculo y porque daba un giro interesante al proyecto. De hecho, si se calientan oficinas con el aire reciclado de un CPD, se reducirían por supuesto las emisiones de dichas oficinas y ahorrarían en costes al contratar la subestación de intercambio centralizada de la red de distrito conectada al CPD, ventajas análogas a las viviendas y por ejemplo para los hoteles.

Los criterios eran que el CPD seleccionado tuviera un ratio de densidad de potencia de 1000 W/m² y que -para transportar el calor por tuberías de agua- el CPD estuviera muy cerca de las instalaciones a las que van a calentar (debido a que a mayor longitud de las tuberías, mayor pérdida de presión y menos rentable y eficiente será el sistema). Por ello la localización deberá albergar espacio suficiente para la sala de máquinas.

La meteorología se estudiaría después para la sala de máquinas, las torres de refrigeración y el generador fotovoltaico.

“En un momento clave en el proceso de transformación energética y digital de la economía española, nuestro país tiene todo a favor, desde la geografía a la calidad de interconexiones, para convertirse en el principal hub digital del sur de Europa. Según la guía de Spain DC (la patronal de las empresas ligadas a la industria de los data centers), en España hay hoy (a 20 de octubre de 2022) 23 centros de datos de colocation (que son aquellos que alojan los datos de otras compañías) construidos y operativos: 11 en Madrid, 2 en Valencia, 2 en Sevilla y el resto en Málaga, Jaén, Toledo, Huelva, Castellón, Alicante, Barcelona y Zaragoza. Y hay tres más en construcción: uno en Madrid, otro en Barcelona y otro en Alicante. Y cuatro ampliaciones de data centers en marcha en Madrid. [...] Algunas de las empresas presentes en la guía son Equinix, Digital Realty (Interxion), Nabiax, XData, Global Switch, Data4, Danfoss, Siemens, Schneider, etc. Robert Assink, director general de Interxion España, reafirmó el papel que juegan los centros de datos en la sostenibilidad, pues se construyen con el foco en la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono.” – Marimar Jiménez, diario Cinco Días, El País. [28]

Cabe destacar que Spain DC también menciona en su página web que España, concretamente Madrid (y es un hecho que Barcelona también, búsqese sobre el superordenador MareNostrum), se están transformando en el hub digital del sur de Europa.

Para este proyecto, se han evaluado como posibles emplazamientos de CPD existente las siguientes empresas: Interxion, Nabiax, Global Switch y Data4.

Resultó que el Global Switch de Madrid cumplía todos los criterios preestablecidos para este proyecto. Según su página web, sus datos son:

- TIER III (redundancia mínima N+1 en todos los sistemas)
- Superficie bruta (3 plantas de suelo técnico): 21.922 m²
- Capacidad total de refrigeración: 24 MW (24.000.000 W)
- Densidad de potencia estándar: 1000 W/m², hasta 1.100 W/m².
- Altura entre forjados: 3,7 m.
- Carga sobre el suelo: 9 kN/m² en las zonas técnicas y superior para las zonas de equipos (en cubierta).
- Suministro eléctrico: 15 kV (con redundancia 2N de UPS)
- Capacidad de potencia: 18 MVA (se entiende que de los transformadores).
- Equipos críticos y unidades climatizadoras alimentados con UPS o SAI como suministro eléctrico auxiliar, en caso de que falle el grupo electrógeno de diésel (porque mencionan depósitos de combustible), el cual se usa en caso de que falle la red eléctrica REE. El orden de suministro eléctrico sería el siguiente:

REE (con trafos) → Grupos electrógenos → UPS

Este CPD no aguanta las cargas sobre su cubierta transitable, o al menos no tolera la cantidad de máquinas que acabará teniendo de reemplazar una enfriadora aire-agua por varias máquinas de este proyecto. El cálculo justificativo puede verse en el apartado 4.2 de este trabajo. Ha venido muy bien que tenga una parcela de terreno anexionada, ya que se ha comprobado que falta espacio por dimensiones en la cubierta del CPD.

Transporte y almacenamiento de las unidades 19DV

Las temperaturas exteriores mínimas y máximas permitidas son:

Temperatura mínima = -15 °C

Temperatura máxima = +60 °C.

Límites de funcionamiento

En funcionamiento, las temperaturas exteriores mínimas y máximas permitidas son:

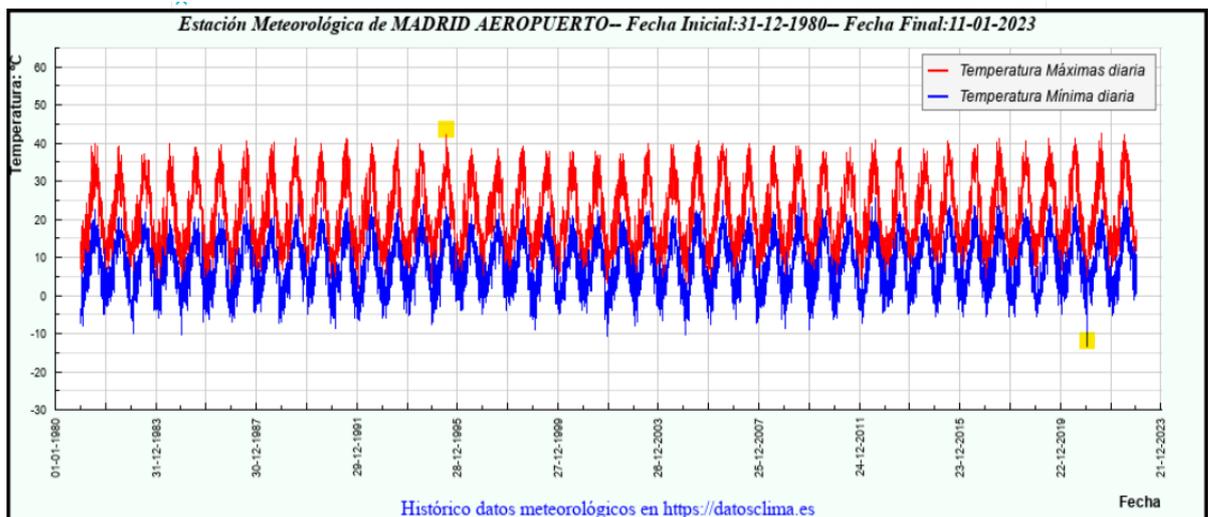
Temperatura mínima = +5 °C

Temperatura máxima = +40 °C.

Las condiciones de funcionamiento y almacenamiento son idénticas a las descritas para la máquina estándar. Las máquinas deben instalarse dentro del edificio. Los cuadros eléctricos cuentan con una protección IP23 conforme con la norma IEC 60529-1.

Ilustración 63 Temperaturas exteriores que puede aguantar la chiller 19DV. Fuente: Manual técnico de Carrier.

La ilustración 63 prueba que, por ejemplo, la chiller agua-agua no sería capaz de aguantar una ola de calor ni una filomena, pues el fabricante permite como extremos entre +5°C y +40°C, y la realidad en el emplazamiento (barrio Rejas) muy próximo al aeropuerto de Barajas es la ilustración 64, mostrando un amplio abanico de registros desde 1980 hasta 2023. Este es otro motivo para construir la sala de máquinas en la parcela de terreno: protección.



Resumen de Valores de Temperatura máxima y mínima a lo largo del Periodo seleccionado:

CARACTERÍSTICAS / VALOR	(Temperatura °C)	FECHA
Temperatura Máxima más alta Registrada:	42.7	14-08-2021
Temperatura máxima más baja Registrada:	0.3	09-01-2021
Temperatura mínima más alta Registrada:	25.8	19-08-2012
Temperatura mínima más baja Registrada:	-13.4	12-01-2021
Mayor diferencia de temperaturas en un mismo día (Tmax-Tmin):	27.5	05-02-1992
Mayor ascenso de temperaturas máximas en 24 h:	11.8	entre 29-12-1994 y 30-12-1994
Mayor ascenso de temperaturas mínimas en 24 h:	13.4	entre 08-12-1981 y 09-12-1981
Mayor descenso de Temperaturas máximas en 24h:	14.9	entre 22-05-2009 y 23-05-2009
Mayor descenso de Temperaturas mínimas en 24 h:	10.8	entre 31-12-1994 y 01-01-1995

Ilustración 64 Registros desde fin de año 1980 hasta el 11/01/2023. Fuente: AEMET, datosclima.es.

Para cuando toque calcular el generador fotovoltaico, se tendrá en cuenta no sólo la temperatura exterior de la localización, sino también la irradiación solar H, establecida en algo menos de 5 kWh/m² de densidad de energía, zona 4. Se ha consultado una fuente muy conocida en el ámbito de la climatización, ADRASE. Véase la ilustración 65.

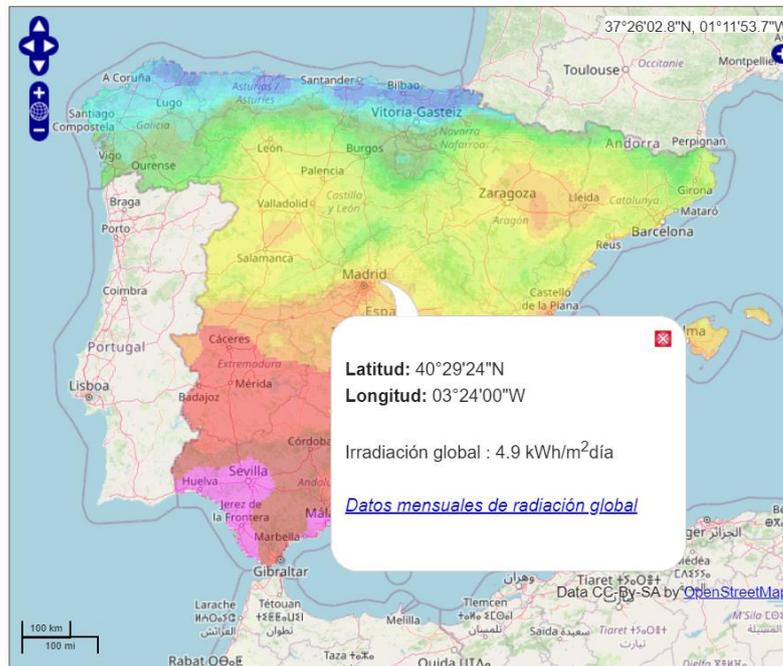


Ilustración 65 Mapa de irradiación solar H en España (Fuente: ADRASE)

La zona en que se llevará a cabo este proyecto está situada en torno al centro de datos Global Switch TIER III de Madrid, asentado en c/Yécora, 4, 28022, San Blas-Canillejas, Madrid. Véanse las ilustraciones 66, 67, y 68.



Ilustración 66 Ubicación en el país. Google Maps.

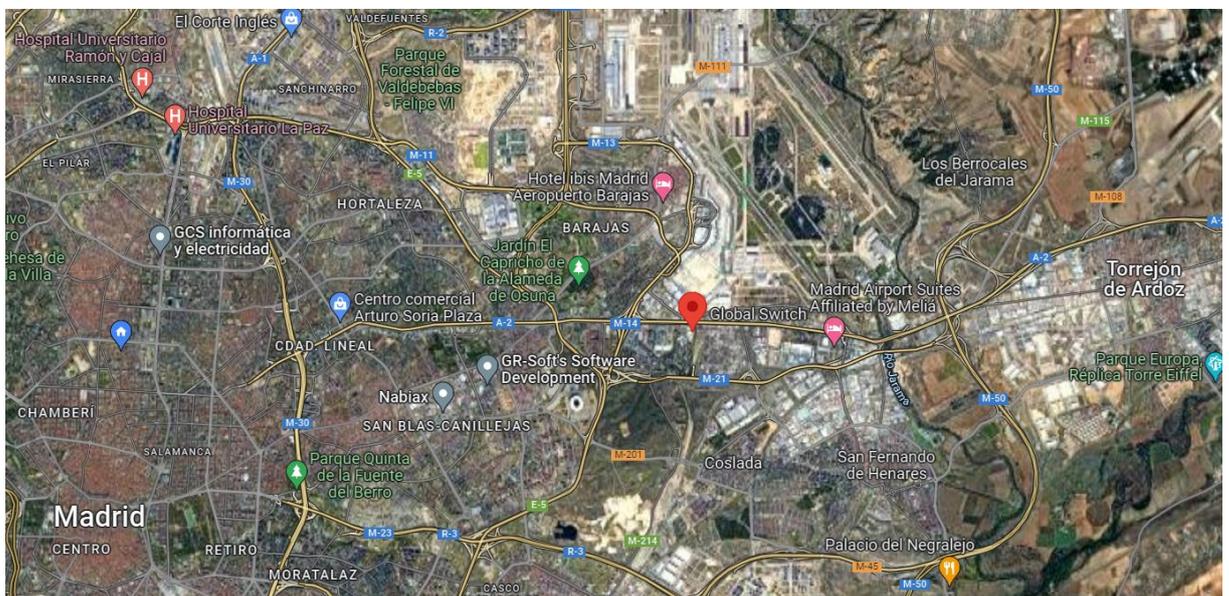


Ilustración 67 Ubicación en la ciudad. Google Maps.

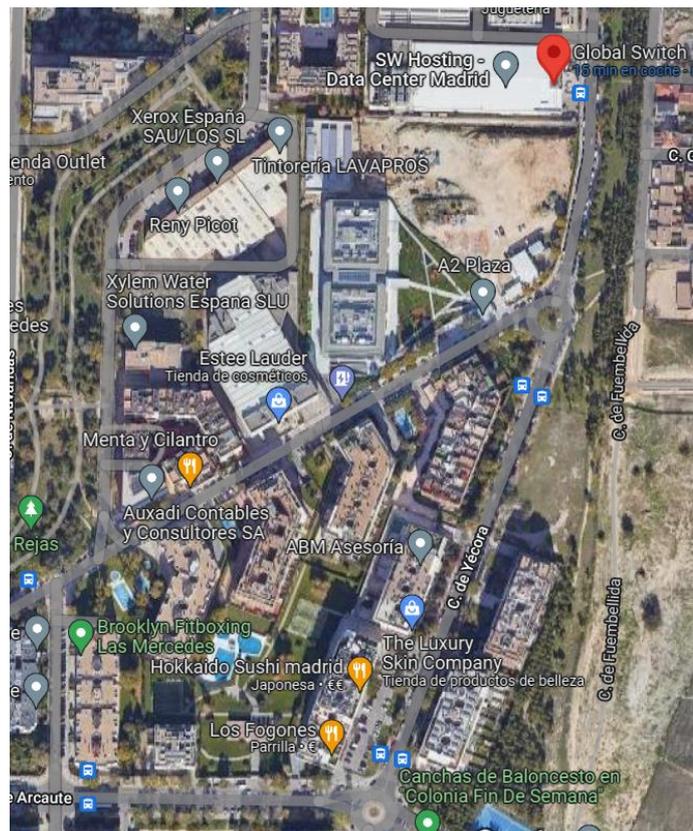


Ilustración 68 Ubicación de la calle y edificios próximos al CPD. Google Maps.

3.5. SUBVENCIONES

En el curso ofrecido por el COGITIM titulado “Redes de frío y calor mediante bombas de calor renovables” que se celebró por videoconferencia el 23 de noviembre de 2022 a las 18:00h, el ponente de la empresa Carrier Enrique Gómez Pascual mencionó una serie de normativas publicadas por el BOE que tratan el tema de District heating and cooling (DHC) relacionados a ciertas ayudas financieras, a saber [29]:

- Reglamento Delegado (UE) 2021/2139 de la Comisión, que completa al Reglamento (UE) 2020/852, y que establece los criterios técnicos para determinar si una actividad económica no causa un perjuicio significativo a ningún objetivo ambiental. Los sectores de actividad que incumben en este proyecto acordes a este Reglamento son:
 - 4. Energía, cuyos capítulos clave son:
 - 4.11. Almacenamiento de energía térmica
 - 4.15. Distribución de calefacción urbana o refrigeración urbana
 - 4.16. Instalación y explotación de bombas de calor eléctricas
 - 4.25. Producción de calor o frío a partir de calor residual
 - 7. Edificación
 - 8. CPDs

El sector 4. Energía, menciona la Directiva 2009/125/CE, como “marco para requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía”. Y en relación con el ecodiseño, además explica que el IPCC tiene seis estudios de evaluación en forma de informes AR1 – AR6. Hay programas de incentivos que premian por el uso de refrigerantes menos dañinos para la atmósfera, que aplican al informe AR4 si los HFC escogidos para bombas de calor tienen un PCA inferior a 675 y el AR6 para incentivar el uso de los HFO según su PCA también.

Para aquellas subvenciones destinadas a proyectos de redes de calor y frío que utilicen fuentes de energía renovables (como fotovoltaica), se puede consultar la **Orden TED/707/2022**, “de 21 de julio, por la que se establecen las bases reguladoras hasta el 30 de junio de 2026 para las convocatorias de los programas de incentivos a proyectos de redes de calor y frío que utilicen fuentes de energía renovable” - BOE. Esta Orden menciona los tres programas de incentivos disponibles en función del tipo de proyecto, y para este caso será una nueva central frigorífica (la sala de máquinas presupuestada del TFM) de generación y una nueva red de distribución (en efecto, la DHC presupuestada), cuya **subvención contribuirá en el 35%, e inferior a 15 millones de euros.**

El RD 1124/2021, “*por el que se aprueba la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de los programas de incentivos para la implantación de instalaciones de energías renovables térmicas en diferentes sectores de la economía, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (de distribución de fondos europeos).*” – BOE. Este Real Decreto aprueba la ley y la acción se aprobará con la Orden 1387/2022, de 30 de mayo. La idea es proporcionar ayudas de entre el 35 y el 50% del coste total, para facilitar la transición y cambio de un antiguo sistema contaminante por otro sostenible, y limpio con el medioambiente y la atmósfera.

- La Next Generation EU (financiación de la mano de la Unión Europea) vendrá ligada a “*actuaciones subvencionables relacionadas que deberán cumplir los requisitos que se establecen en el Anexo I del Real Decreto 1124/2021 en el territorio de la Comunidad de Madrid:*”
 - **Programa de incentivos 1:** *Realización de instalaciones de **energías renovables térmicas** en los **sectores** industrial, agropecuario, **servicios** y/u otros sectores de la economía, **incluyendo el sector residencial.***
 - *Programa de incentivos 2:* *Realización de instalaciones de energías renovables térmicas en edificios no residenciales, establecimientos e infraestructuras del sector público.*

Las tecnologías renovables térmicas incluidas son la solar térmica, biomasa, geotermia, hidrotermia o aerotermia y las microrredes de distrito de calor y/o frío (de menos de 1 MW de potencia).” – web Tramita Comunidad de Madrid. El plazo de tramitación de esta subvención estará activo entre el 21 de junio de 2022 y el 31 de diciembre de 2023. El IDAE también ha publicado un artículo con las convocatorias de este programa.

En relación a la **fotovoltaica**, las subvenciones disponibles provienen de los fondos europeos, que según la web Cambio Energético, el presupuesto global es de 22,9 M€ repartido entre 2021, 2022 y 2023, en varios programas de ayudas, pero esencialmente las prestadas al autoconsumo (de la sala de máquinas en este proyecto) serán del **15-35%**.

3.6. SERVIDUMBRES

El CPD Global Switch está, citando de su página web: *“ubicado a 12 km del distrito financiero y del centro de la ciudad de Madrid. Hay una parada de autobús a la salida de la puerta principal, cerca de la autovía A-2. El aeropuerto internacional de Barajas está a 10 minutos en coche.”*

Para llegar al edificio, los camiones y las grúas podrán acceder por la Avenida de Aragón, para luego continuar por la c/ Yécora.

Es necesario realizar una declaración responsable o licencia urbanística, cuyo régimen general se encuentra recogido en la OLDRUAM (Ordenanza de Licencias y Declaraciones Responsables Urbanísticas del Ayuntamiento de Madrid) a través de la Sede electrónica del Ayuntamiento de Madrid. Esto implica que habrán de solicitarse con antelación una serie de trámites, permisos y licencias que constituirán la tramitación legal de la obra. A través de estos trámites, pueden consultarse los expedientes urbanísticos de licencias urbanísticas, declaraciones responsables y comunicaciones previas que están en tramitación o se han resuelto por cualquiera de los órganos del Ayuntamiento de Madrid con competencia en la materia. [30]

Las actividades a realizar seguirán la siguiente secuencia:

- Se deberá proporcionar una Memoria del estudio de viabilidad de la instalación, el ahorro que permitirá obtener y el presupuesto del proyecto.
- Se deberá proporcionar un Proyecto para instalaciones grandes sobre el diseño y dimensionado del sistema.
- Solicitar la licencia del inicio de obras (si se ha ganado el concurso y ha sido otorgada la licitación a la oferta de este proyecto).
- Promocionar la divulgación de uso y ventajas del District heating and cooling al barrio Rejas, especialmente a los interesados y afectados por la instalación y obra de construcción.
- Solicitar autorización del acceso de vehículos. Autorización de acceso para carga y descarga en áreas de prioridad residencial.
- Autorización de ampliación de horarios para la realización de obras y trabajos en el medio exterior y edificaciones.
- Autorización para contar con una entidad colaboradora urbanística ECU.
- Solicitar la obligatoria licencia de obra e impuestos, como el ICIO –o Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras- y la tasa de prestación de servicios urbanísticos de San Blas-Canillejas.

- Autorización de explotación de instalaciones eléctricas de producción, transporte o distribución, la cual se trata de un trámite que permite el uso de la instalación y que se lleva a cabo en la Comunidad de Madrid.
- Autorización ambiental y de utilidad pública.
- Inscripción en el Registro de las Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica de instalaciones de generación a partir de fuentes de energía renovables de la Comunidad de Madrid, únicamente aplicable para instalaciones de más de 1 MW de potencia instalada total que puedan ser agrupadas según el RD 413/2014 por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, y este TFM encaja en la clasificación subgrupo b.1.1. (véase la ilustración 69).

2. Grupo a.2 Instalaciones que incluyan una central que utilice energías residuales procedentes de cualquier instalación, máquina o proceso industrial cuya finalidad no sea la producción de energía eléctrica.

b) Categoría b): Instalaciones que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no fósiles:

Esta categoría b) se clasifica a su vez en ocho grupos:

1. Grupo b.1 Instalaciones que utilicen como energía primaria la energía solar. Dicho grupo se divide en dos subgrupos:

Subgrupo b.1.1 Instalaciones que únicamente utilicen la radiación solar como energía primaria mediante la tecnología fotovoltaica.

Ilustración 69 Agrupación de instalaciones que incluyen renovables. Fuente: BOE RD 413/2014.

- Al ser una nueva instalación, no la reforma de una existente ni una ampliación, hay que reflejar en los derechos de contratación que el consumidor abonará, la cuota de red y la de enganche a la red, y costes del contador de energía y llaves (válvulas) de entrada (según la web de la Comunidad de Madrid).
- Solicitar el permiso de conexión a red eléctrica.

3.7. REFERENCIAS DE OTROS PROYECTOS PARECIDOS

En este apartado, se empezará presentando en la ilustración 70 el audaz crecimiento de las redes de distrito de calefacción y refrigeración (DHC, District Heating and Cooling), mostrando el número de redes instaladas en 2022, su potencia total instalada 1.681 MW, su longitud total 918 km, ahorro en consumos del 73% y en emisiones 276.138 toneladas equivalentes de CO₂ evitadas (todos datos impresionantes), y usos de las fuentes energéticas más sonadas básicamente. [29]

Estadística España

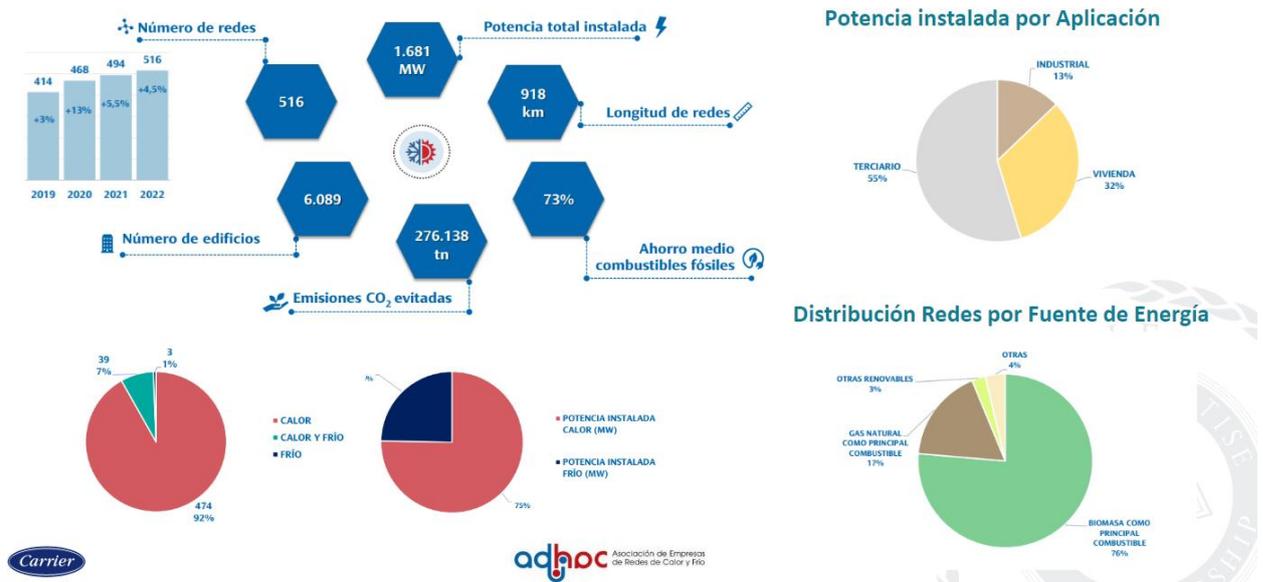


Ilustración 70 Estadística en España de las DHC. Fuente: CarrierNow, COGITIM.

En las siguientes líneas, se van a ir mencionando proyectos reales implantados y muy fructuosos en diferentes partes del mundo.

En primer lugar, hay una empresa llamada E.ON ectogrid™ muy puntera que pretende hacer algo parecido a este proyecto pero conectando a los edificios entre sí para tener 0% emisiones mediante reutilización de los excedentes que pueda haber de energía como objetivo propuesto. En esa idea de negocio, cada edificio que está conectado a un E.ON ectogrid™ deberá tener una bomba de calor y/o una enfriadora para cubrir las necesidades individuales del edificio sin necesitar que la red deba estar tan caliente ni tan fría como en este proyecto, pero es menos práctico que usar directamente una subestación de intercambio y un control automatizado de la red. Además almacena la energía en horas valle de demanda en un tanque acumulador, igual que en este proyecto, y cuando no basta, utiliza otros tipos de energía renovables.

*“En este proceso, **cada edificio envía el exceso de calefacción o refrigeración a otros edificios, según sus necesidades. Al compartir, equilibrar y almacenar energía en rotación, E.ON ectogrid™ utiliza de manera eficiente todos los flujos de energía disponibles antes de agregar nueva energía. Proporciona calefacción y refrigeración desde la misma red. [...] Medicon Village (Suecia) E.ON ectogrid™ conecta 15 propiedades comerciales y edificios residenciales con diferentes necesidades de calefacción y refrigeración, y ha cambiado drásticamente el consumo de energía del parque de investigación. Antes de instalar E.ON ectogrid™, se suministraban aproximadamente 10 GWh de calefacción urbana y 4 GWh de refrigeración urbana. El objetivo a largo plazo es equilibrar 11 GWh de su suma y que el sistema solo necesite la diferencia, es decir 3 GWh de energía suministrada.**” – eon.com.*

Se parece al proyecto D2Grids del estilo 5GDHC, prácticamente en todos los aspectos.

Por otra parte, las noticias que brinda la empresa Danfoss [21] permiten conocer proyectos implementados de DH en diferentes países:

- En Francia, en la ciudad Nantes, ya hay una district heating de sólo calefacción que ahorra 17.000 toneladas de CO₂ anuales, alimentando escuelas, oficinas, guarderías y residencias.
- Dinamarca tiene un laboratorio energético Nordhavn que investiga tecnologías innovadoras smart de calefacción y refrigeración respetuosas con el medioambiente.
- En Polonia, dos empresas han acordado desarrollar un concepto de smart city de alta eficiencia.
- En España, en Valladolid, se hizo un proyecto en 2014 de construir una central térmica de **biomasa*** conectada a un parque fotovoltaico y una **district heating** que abastece con **14 MW a 31 edificios**. Dicha red de calefacción urbana estuvo operativa en un año y el presupuesto fue de 7 M€ (**5 M€ para la ejecución de obra y 2 M€ a la**

gestión del mantenimiento). Esta información de la web Construible.es resulta de utilidad como referencia para este TFM. [32]

- En China, la ciudad Benxi ahora tiene district heating (calefacción urbana) y ha logrado reducir 200.000 toneladas de consumo en carbón al año, pudiéndose empezar a respirar en lo que antes era una nube espesa de contaminación.

***Biomasa:** Cabe añadirse que la biomasa no necesariamente se usa porque se considera una energía “limpia”, sino por ser renovable, que en su caso lo que significa es que tiene un ciclo de emisiones de carbono neutro al utilizar residuos forestales y agrícolas de la presente Era geológica y no prehistórica; con lo cual se compensa el carbono que produce con el que consume (y no por ello no contamina, pero menos que los combustibles fósiles).

También se tienen referencias parecidas en casos de éxito en Finlandia, Suiza, Suecia, Alemania y México, por mencionar algunos.

Las formas de proyecto punteras son:

- Combinar el uso de CPDs con plantas de energía fósil. Construirlos cerca uno de los otros para que compartan bajas pérdidas y ganen beneficios juntos. (Pero si con lo defendido en el Capítulo 1 Introducción de este TFM, ya se ha mencionado que no se permitirán combustibles fósiles para 2050, esta opción no sería viable energéticamente a futuro.)
- Que el CPD abastezca directamente a piscinas climatizadas, lavanderías, supermercados, ..., mediante un sistema (dos circuitos primario y secundario de tuberías) cerrado urbano. Según Gesab Noticias [31]:
 - o En Finlandia, llaman “planta de reciclaje de aire caliente” a que sus CPDs calienten a 500 casas, evitando que esa energía térmica se pierda al ambiente.
 - o En México, llaman “hornos de datos” a recuperar el calor evacuado de los CPDs mediante una planta de cogeneración por gas (combustible gas natural) -como es el caso del CPD de Alestra-, y hasta trigeneración (que produce simultáneamente energía calorífica, eléctrica y además frigorífica pero con ayuda de enfriadoras de absorción) también a partir de su combustible.
 - o En Suiza, en la ciudad Uitikon, una piscina lleva climatizándose desde 2008 con el calor residual del CPD de IBM y GIB Services AG.

Según ReUseHeat, y su *Manual para una mayor recuperación del exceso de calor urbano*, se han leído ejemplos muy curiosos, de otras aplicaciones del DH sobre todo, algunos de los cuales son:

- **Un centro de datos como energía primaria con la que abastecer a 400 viviendas de nueva construcción y un centro comercial a las afueras de la ciudad de Braunschweig (Alemania).** El calor del que se habla es el que se genera de varios componentes del servidor, especialmente en los procesadores, chips de memoria y unidades de disco.

Dicho centro de datos proporciona agua caliente a 25°C que se canalizó a la central frigorífica o sala de máquinas, en la que la temperatura se eleva a más de 70°C a través de una BCHT, y posteriormente agua caliente es conducida hacia las áreas residenciales y comerciales para proporcionar calefacción y ACS. Se utilizó un **tanque de inercia para almacenar agua caliente para que pueda distribuirse cuando sea necesario**. Alrededor del 40% de la demanda de calefacción de la ciudad fue cubierta a través de un **District heating (DH) de alta temperatura** alimentado por una **planta de cogeneración** de alta eficiencia, la cual además proporciona electricidad a la red eléctrica. La demanda restante de calefacción se cubre con calderas de gas natural.

- **Un hospital como energía primaria de la que aprovechar el calor residual.** Se eligió un hospital porque es un edificio urbano común con infraestructura local de calefacción y refrigeración de distrito y, por lo tanto, el potencial de reproducción es alto.

El caso real se implantó en el Hospital Universitario Severo Ochoa (Leganés, Madrid), el cual estaba disipando calor al ambiente a través de torres de refrigeración. En este proyecto, se logró recuperar la energía calorífica del circuito de condensación de unas enfriadoras eléctricas agua-agua. El calor se eleva a 50-55 °C y se conduce por agua en la **DH de baja temperatura para satisfacer parcialmente sus necesidades de energía térmica**. La bomba de calor captura el calor del agua a la salida del condensador de las enfriadoras (a 25-35°C), y la calienta según el sistema de control. De esa manera, se minimizó el uso de las torres de refrigeración, ahorrando energía. El proyecto fue desarrollado y ejecutado por ASIME, responsable del mantenimiento de los propios sistemas de refrigeración y calefacción del hospital.

- Y gran objetivo de los TFMs últimamente viene siendo sistemas de recuperación de calor metropolitanos, es decir, se toma una **estación de metro** como energía primaria de la que aprovechar el calor residual.

Los sistemas de metro producen una gran cantidad de calor (a través de las rejillas metálicas en la superficie que dan a carreteras) a partir de los motores eléctricos, los equipos de frenado y la ventilación de los trenes que pasan. Esto puede hacer que las estaciones de metro sean incómodamente calurosas en los meses de verano. La recuperación del calor residual de los

*sistemas de metro puede generar dos ganancias: calor para usar en un DH para abastecer algún otro edificio y sobre todo mayor comodidad para el cliente (mediante refrigeración). **La recuperación del calor residual urbano puede ser más rentable que utilizar el sistema de ventilación.** En los sistemas más antiguos, a menudo no hay refrigeración del sistema. En dichas estaciones, la recuperación del calor residual **añade comodidad a los pasajeros** que de otro modo no existiría. La fuente de calor residual prevista era un túnel en el que la temperatura es de 8-15°C en invierno y un máximo previsto de 27°C en verano. El sistema de recuperación de calor se realizaría con una **unidad multi fancoil** que se colocaría sobre una plataforma **dentro del túnel**. El calor recuperado se habría utilizado en uno de los edificios del metro a través de una DH de baja temperatura (50°C), con una extensión aproximada de 100 metros. La instalación se establecería para la DH pero, a través del tanque de inercia, se prepararía un enlace para conectar el recuperador de calor a la DH de la ciudad de **Berlín** (a aprox. 2.000 km), una de las más antiguas de Europa que **opera a altas temperaturas**.*

Finalmente, en la Noticia nº 64 de la ADHAC, el Secretario General Francisco Javier Sigüenza Hernández, publicó una simulación (véase la ilustración 71) para un mismo edificio, y demostró la gran mejora en calificación energética desde una letra E cuando ese edificio tenía calderas para dar calefacción y ACS, a una letra C cuando se habría conectado a un district heating para esos mismos servicios.

La simulación fue la siguiente:



El mismo edificio conectado a una Red supone:



Ilustración 71 Calificación edificio calderas vs conectarse a una DHC. Fuente: Noticia 64 de la ADHAC.

La mejor parte es que resultó bastante buena aún sin haber aplicado renovables a las máquinas frigoríficas y bombas de calor (alimentadas con energía eléctrica), ni tampoco hizo una rehabilitación completa de la envolvente térmica de los cerramientos, huecos, puentes térmicos, etc. con los debidos aislamientos, porque entonces el edificio no sólo habría alcanzado una letra B o A en las emisiones equivalentes de CO₂, sino también en la demanda de calefacción y refrigeración porque se habrían mejorado la estanquidad y revestimientos.

Capítulo 4. INGENIERÍA BÁSICA DEL PROYECTO

En este capítulo, se parte de la demanda real (certificada a través de softwares muy reconocidos en las empresas de ingeniería), porque es el fundamento necesario para la selección de todas las máquinas de la red DHC. Se redacta la Ingeniería Básica, describiendo minuciosamente el proyecto, con todos los cálculos realizados que han permitido justificar los criterios tomados. Al final, se muestra el cronograma de ejecución del proyecto y su representación en diagrama de Gantt.

Este es el capítulo más complejo de todo proyecto, pues dará pie a la determinación de resultados finales en el Capítulo 5.

En este proyecto, se ha explicado que la localización principal del centro de datos Global Switch TIER III en c/ Yécora, 4 del barrio Rejas, distrito San Blas-Canillejas (Madrid) es viable - desde los puntos de vista legal, medioambiental, de localización, técnico, financiero, etc.-, que el entorno socioeconómico es favorable a la implantación de la instalación completa de red de tuberías DHC en cuanto a la masa crítica (11 edificios residenciales y terciarios consumidores de energía calorífica y frigorífica).

La parcela de terreno donde se construirá el edificio de la sala de máquinas (de características térmicas, según el REBT, muy parecidas a las que tiene un garaje cerrado) es propiedad de un promotor inmobiliario del distrito de San Blas-Canillejas, que ha mostrado su conformidad con este proyecto otorgando una concesión administrativa por un período de 35 años para la explotación de este edificio con su instalación (esencialmente eléctrica). En este edificio irá colocado el cuadro eléctrico de todos los circuitos que dan a las máquinas y elementos presupuestados, y por lo tanto, también dispondrá de un circuito de conexión a la instalación fotovoltaica tanto sobre la nave industrial del CPD como del mencionado edificio de la central frigorífica.

El modo y distancias a las que se montará cada máquina será realizado tal y como expresan sus manuales de instrucciones del fabricante y manual de uso y mantenimiento de las máquinas, en los cuales también figurará el nivel de ruido en dB, que es en cierto modo relevante cuando haya que decidir qué equipamiento deberán llevar cada mes los mantenedores de las instalaciones y los encargados de inspección para no sufrir daños de audición permanentes. Tanto el contador a único usuario como las acometidas eléctricas y de agua fría, irán colocados a la entrada del edificio y debidamente señalizados según el REBT (para la caída de tensión y protecciones de cableado eléctrico) y el RITE (para las tuberías y maquinaria de climatización).

4.1. DEMANDA Y CERTIFICACIÓN PRELIMINAR DE LOS EDIFICIOS DEL TFM

Todas las certificaciones energéticas de edificios están justificadas al pie de la letra por el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

- El CTE, según su propia página web, está compuesto por tres partes: Exigencias Básicas, Documentos Básicos (DB) con los métodos de cuantificación y verificación pertinentes, y Documentos complementarios de Apoyo (que son los Documentos con comentarios).

Antes del CTE, se utilizaba un documento de Normas Básicas de la Edificación NBE-CT-79 (o RD 2429/1979).

La LOE o Ley 38/1999 permitió el RD 314/2006 por el cual se aprobó el CTE de 2006, y después con la Orden FOM/1635/2013 se actualizó el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del CTE (entre otros estructurales, de ruido o de seguridad frente a incendios también del CTE).

Así la secuencia de correcciones ha sido la siguiente:

- **NBE-CT-79 (RD 2429/1979)**
 - **CTE 2006 (RD 314/2006)**
 - CTE 2007 (RD 1371/2007)
 - CTE 2013 (Orden FOM /1635/2013)
 - **CTE 2019 (RD 732/2019)**
 - **CTE 2022 (RD 450/2022 de 14 de junio, publicado en el BOE el 15/06/2022)**
- El RITE, por su parte, constituye el marco normativo básico que regula las “exigencias de eficiencia energética y de seguridad, que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios para atender la demanda de bienestar e higiene de las personas”.

Del RITE hay cuatro versiones: 1998, 2007, 2013, 2021.

- RD 1751/1998
- **RD 1027/2007**
- RD 238/2013
- **RD 178/2021 versión consolidada.** En esta última actualización, se han añadido las siguientes nuevas Instrucciones Técnicas:
 - Preparación de agua caliente para usos sanitarios, que remite al Código Técnico de la Edificación (IT 1.2.4.1.2.4)
 - Unidades de ventilación (IT 1.2.4.2.8)
 - **Emisores térmicos (IT 1.2.4.2.9)**
 - **Sistemas de automatización y control de instalaciones (IT 1.2.4.3.5)**
 - **Eficiencia energética general de la instalación térmica (IT 1.2.4.8)**

- **Información sobre el Consumo (IT 3.4.5)**
- Expertos independientes (IT 4.2.4)
- Sistema de control independiente (IT 4.2.5)
- Exenciones de Inspección (IT 4.3.4)

Todo lo resaltado en **negrita** son de interés en este proyecto.

A modo de curiosidad, considerando la pandemia de Covid-19 de 2020, se menciona en la ilustración 72 cuándo es obligatorio ventilar y cuándo lo es climatizar.

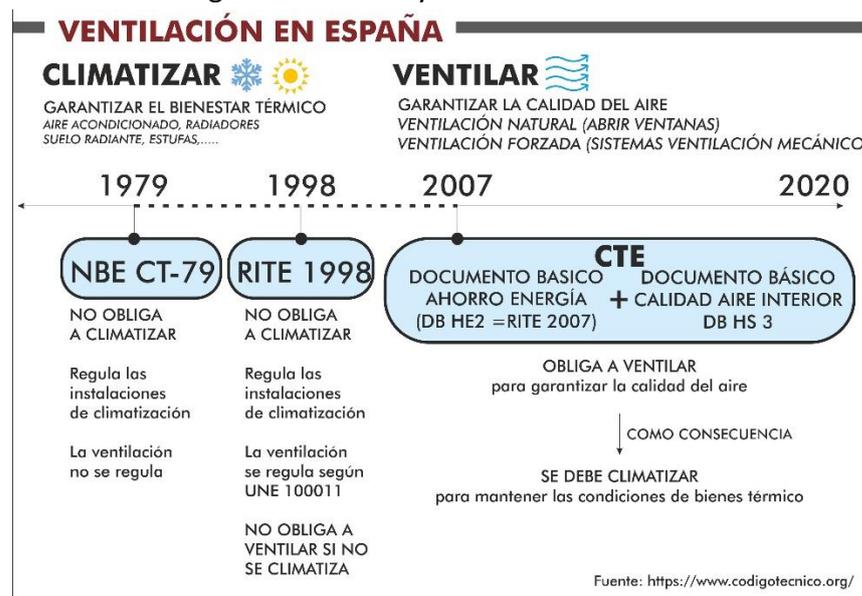


Ilustración 72 Línea temporal esquemática de CTE y RITE en calidad de climatización y ventilación. Fuente: Twitter.

De esta manera, los softwares que se han aplicado en este proyecto para poder elaborar las certificaciones y verificaciones de los tres tipos de edificios próximos al centro de datos han sido los siguientes:

- Edificios de oficinas → CE3X
- Edificios y bloques de viviendas → CERMA

Además, la letra de calificación energética obtenida del cálculo por software tiene un determinado rango de ecodiseño que va de la A a la G en viviendas más eficientes (indicándose con unos consumos inferiores al 55% bajo la media en la A, y superiores al 125% en la G) en la ilustración 73.

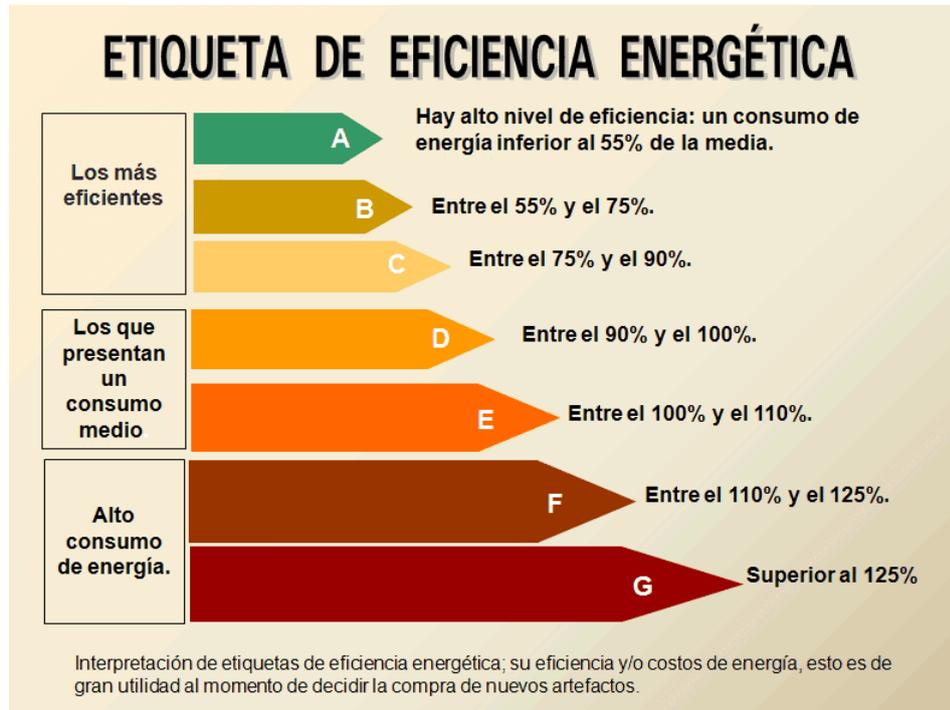


Ilustración 73 Eficiencia energética A-G en edificios. Fuente: Sustentable & Sostenible.

En primer lugar, se explicará cómo se han obtenido los ratios W/m^2 para viviendas y para oficinas, respectivamente y con sus correspondientes softwares, así como la demostración técnica real de cuánto gana en eficiencia energética y en menores emisiones contaminantes los edificios cuando se les cambia las instalaciones a propuestas más modernas.

Después, se realizará la composición de todos los edificios que se podrán beneficiar de este proyecto, la cual dará la suma total de cargas térmicas demandadas y que serán **abastecidas por el centro de datos, al mismo tiempo que proveerán de suficiente continuidad al centro de datos** a lo largo del año.

Para realizar la certificación y verificación energéticas de **edificios residenciales** o edificios de viviendas, -aunque sea muy empleada en el mundo profesional la Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC) en modalidad VYP-, el mejor software que se puede usar es **CERMA**, elaborado nada más ni nada menos que por la Cátedra de Valencia. Este programa -en concreto CERMA v5.11, su versión más reciente al momento de este cálculo- se puede descargar del siguiente enlace:

<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Documentos/Reconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>

Y si hubiera problemas para imprimir los archivos “_certi.xml” que genere el ingeniero, se pueden obtener mediante un visor CTE_XML en el siguiente enlace:

<https://visorxml.codigotecnico.org/validator>.

En base a los edificios que se van a tener en cuenta para este proyecto (ilustración 74), se procederá a certificar uno que sea promedio y se harán las estimaciones necesarias según el catastro, Google maps, y los requisitos de la certificación pertinentes.

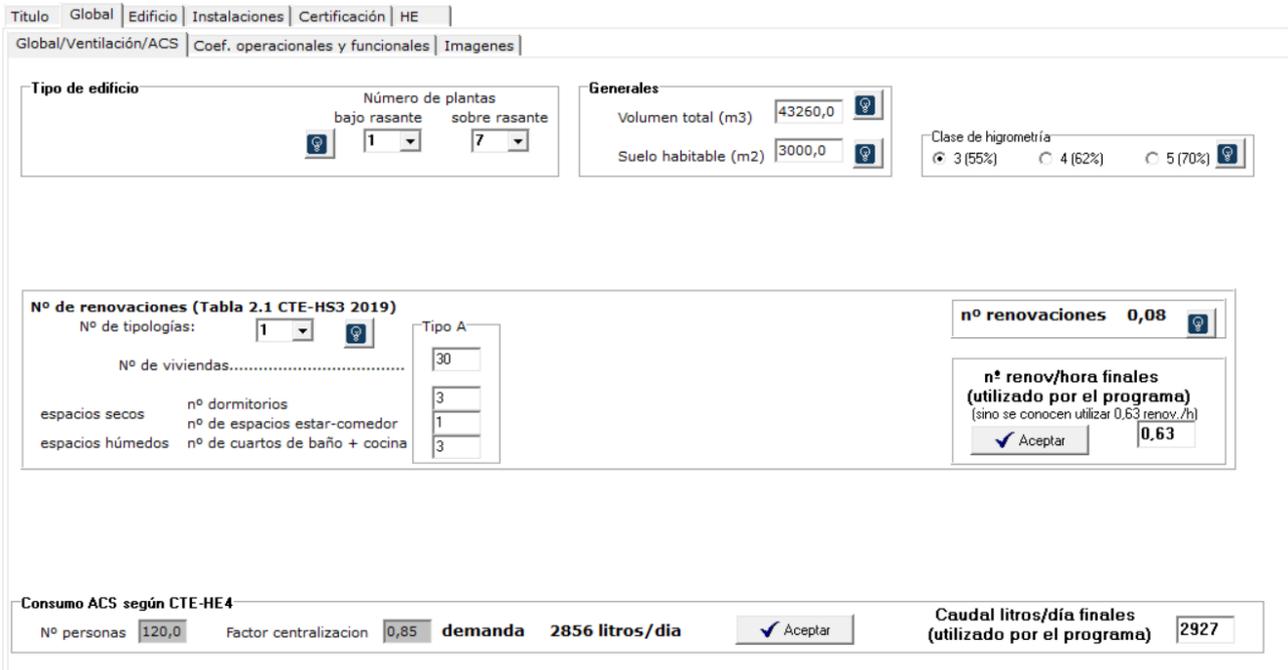
	CALLE EDIFICIO	m2 EDIFICIO	Nº PLANTAS	Nº VIVIENDAS TOTAL (313)	m2 promedio VIVIENDA	CARGA REFRIGERACIÓN kW/edificio	CARGA CALEFACCIÓN kW/edificio
3	NANCLARES DE OCA, 26	1865	5	18	105	131	93
4	NANCLARES DE OCA, 24	3236	7	47	75	227	162
5	NANCLARES DE OCA, 25	3756	4	32	117	263	188
6	ARAMAYONA, 1	3896	4	32	122	273	195
7	ARCAUTE, 15	667	2	6	111	47	33
8	YÉCORA, 41	2154	7	26	83	151	108
9	YÉCORA, 10	10079	6	106	95	706	504
10	YÉCORA, 27	3190	7	26	123	223	160
11	NANCLARES DE OCA, 40	2831	5	20	142	198	142

Ilustración 74 Cargas térmicas de edificios de viviendas del barrio Rejas. Elaboración propia en Excel.

Así pues, cuando se han decidido cuáles y cuántos edificios se pretende calcular, se selecciona el edificio promedio (c/Yécora 27, tomado como ejemplo estimado) en características de superficie, número de plantas y número de viviendas, año de construcción, etc.

Se han encontrado en la Sede electrónica del Catastro en el siguiente enlace: <https://www1.sedecatastro.gob.es/cycbieninmueble/ovcbusqueda.aspx>.

Primero se define el edificio de viviendas como en la ilustración 75.



Tipo de edificio

Número de plantas
bajo rasante: 1 | sobre rasante: 7

Generales

Volumen total (m3): 43260,0

Suelo habitable (m2): 3000,0

Clase de higrometría: 3 (55%) | 4 (62%) | 5 (70%)

Nº de renovaciones (Tabla 2.1 CTE-HS3 2019)

Nº de tipologías: 1

Nº de viviendas: 30

espacios secos: 3 | n° dormitorios: 3

espacios húmedos: 1 | n° de espacios estar-comedor: 1

n° de cuartos de baño + cocina: 3

nº renovaciones: 0,08

nº renov/hora finales (utilizado por el programa): 0,63

Consumo ACS según CTE-HE4

Nº personas: 120,0 | Factor centralización: 0,85 | demanda: 2856 litros/día

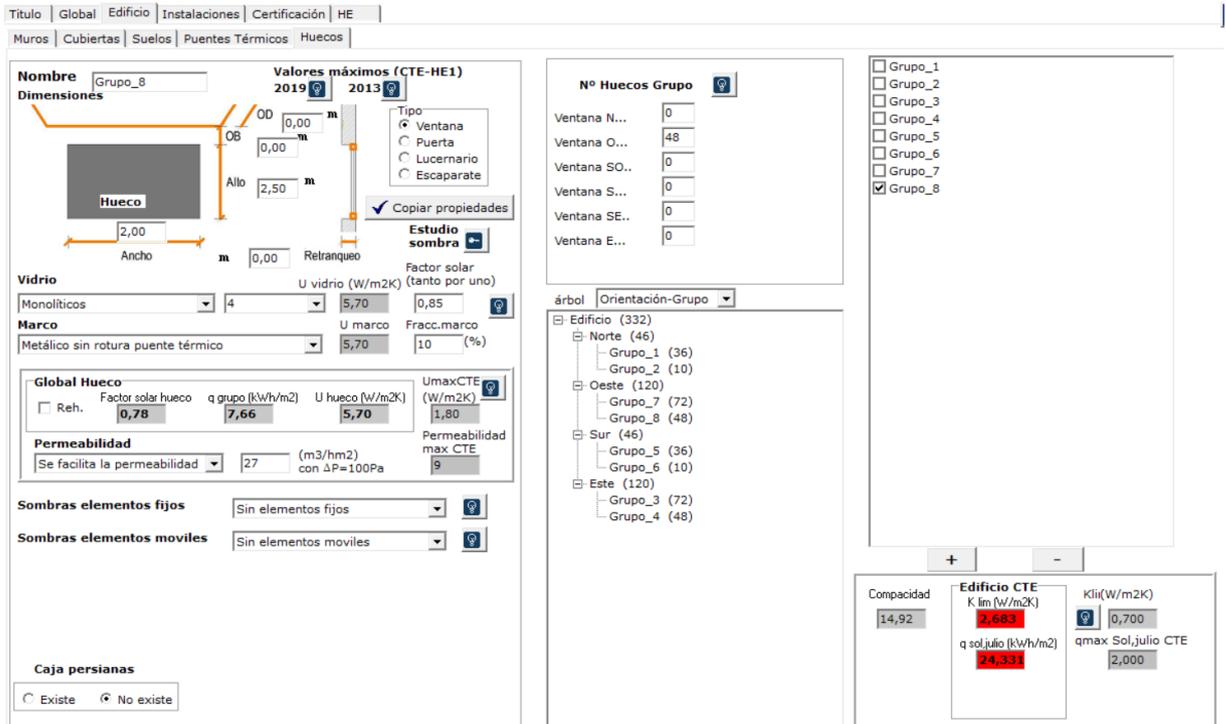
Caudal litros/día finales (utilizado por el programa): 2927

Ilustración 75 Datos del edificio residencial en CERMA.

En la ilustración 75, se ha decidido establecer que el edificio tiene un suelo habitable de unos 3.000, que multiplicándolo por 2,7 m de altura entre plantas y por el número de plantas, dará un volumen de 43.260 m³.

Como la mayoría de los edificios analizados del Catastro son anteriores al CTE 2006, se ha seguido la norma NBE-CT-79 (desde 1979) para este caso.

En cuanto a su construcción, se trata de un edificio exento, pues ninguno de los edificios del barrio Rejas hacen medianería con ningún otro edificio. Se ha medido el edificio por Google Maps para la ilustración 76. Además, se han seleccionado hasta ocho grupos de ventanas según sus dimensiones y orientación.



Nombre: Grupo_8

Valores máximos (CTE-HE1)
 2019: 5,70
 2013: 5,70

Dimensiones: Ancho: 2,00 m; Alto: 2,50 m

Vidrio: U vidrio (W/m2K): 5,70; Factor solar (tanto por uno): 0,85

Marco: U marco: 5,70; Fracc.marco: 10 (%)

Global Huevo: Factor solar huevo: 0,78; q grupo (kWh/m2): 7,66; U huevo (W/m2K): 5,70; UmaxCTE (W/m2K): 1,80

Permeabilidad: Se facilita la permeabilidad: 27 (m3/hm2 con ΔP=100Pa); Permeabilidad max CTE: 9

Sombras elementos fijos: Sin elementos fijos

Sombras elementos móviles: Sin elementos móviles

Caja persianas: Existe No existe

Nº Huecos Grupo:

Ventana N...	0
Ventana O...	48
Ventana SO...	0
Ventana S...	0
Ventana SE...	0
Ventana E...	0

Edificio (332):

- Norte (46)
 - Grupo_1 (36)
 - Grupo_2 (10)
- Oeste (120)
 - Grupo_7 (72)
 - Grupo_8 (48)
- Sur (46)
 - Grupo_5 (36)
 - Grupo_6 (10)
- Este (120)
 - Grupo_3 (72)
 - Grupo_4 (48)

Edificio CTE: K. lim (W/m2K): 2,683; q sol julio (kWh/m2): 24,331

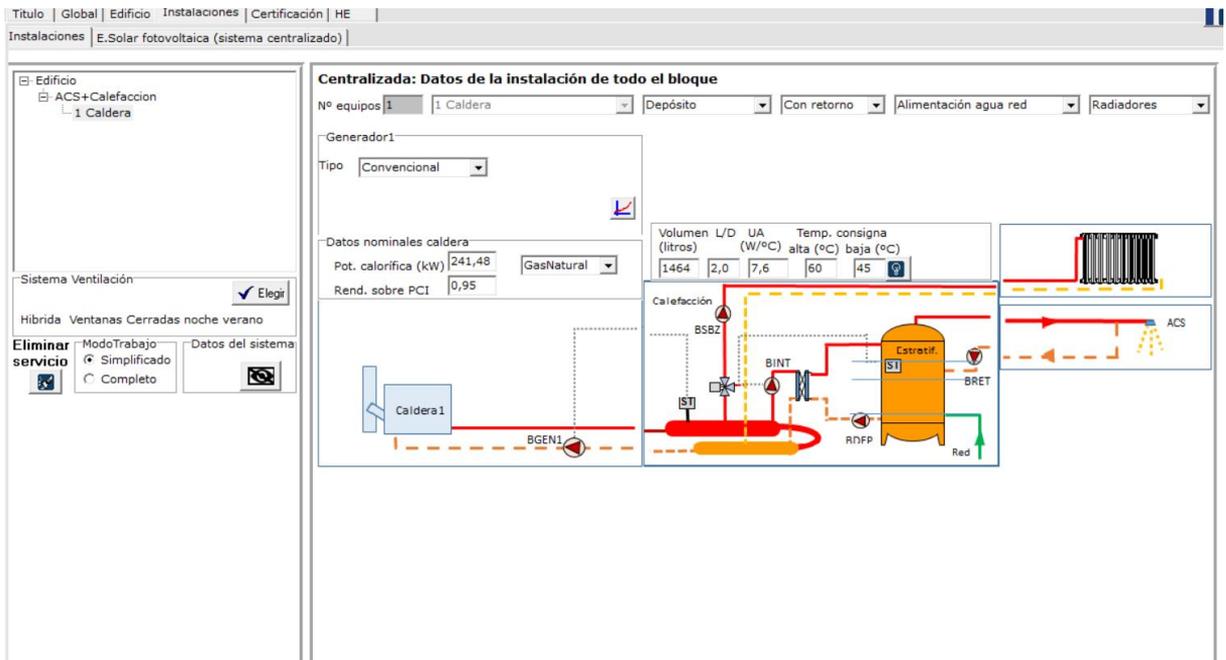
Compacidad: 14,92

Kli (W/m2K): 0,700

qmax Sol_julio CTE: 2,000

Ilustración 76 Cerramientos y huecos convencionales del edificio residencial en CERMA.

La ilustración 77 muestra la selección de una instalación convencional de caldera de gas natural del 95% de rendimiento, con sus dos colectores, con un interacumulador para el ACS, radiadores y grifos.



Centralizada: Datos de la instalación de todo el bloque

Nº equipos: 1 Caldera; Depósito; Con retorno; Alimentación agua red; Radiadores

Generador1: Tipo: Convencional

Datos nominales caldera: Pot. calorífica (kW): 241,48; GasNatural; Rend. sobre PCI: 0,95

Volumen L/D UA: 1464, 2,0, 7,6; Temp. consigna (W/°C) alta (°C): 60; baja (°C): 45

Calentamiento: BSBZ, BINT, BRET, BGEN1, RD/FP, Red

ACS: Estratific. (Stratified tank)

Ilustración 77 Esquema Principio de funcionamiento instalación convencional del edificio residencial. CERMA.

La ilustración 78 muestra los resultados de emisiones en kg CO₂ equivalentes/m²-año que se obtiene poniendo una caldera de gas natural centralizada para un edificio de viviendas construido antes de 2006. Sólo con ver que la calificación total es E es demuestra lo nocivo que es usar caldera.

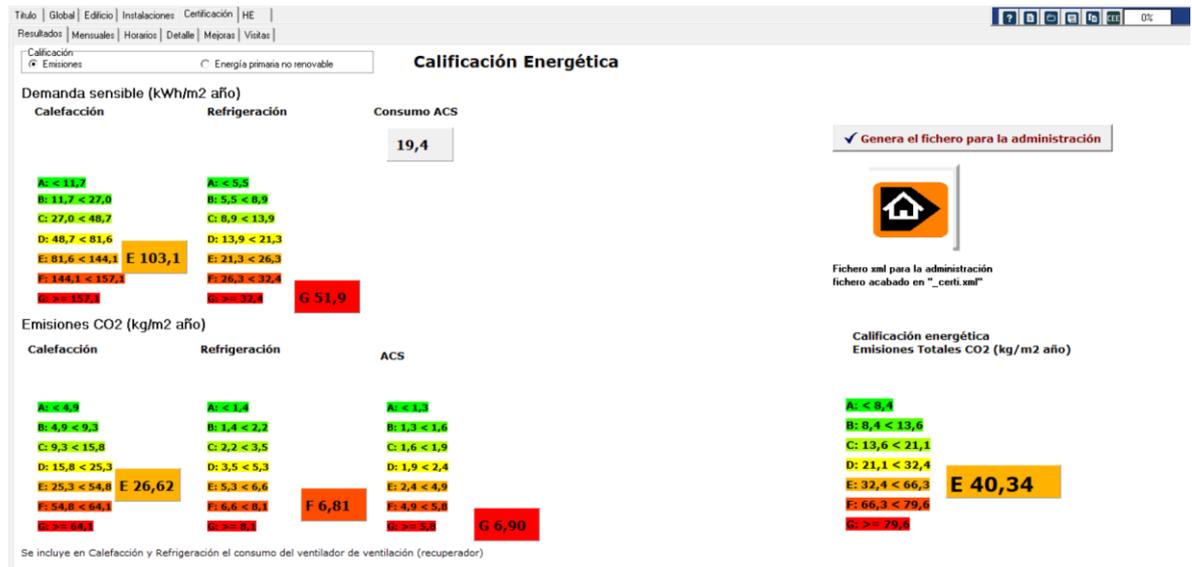


Ilustración 78 Resultados emisiones edificio residencial por caldera+AC. CERMA.

La ilustración 79 muestra los resultados de energía primaria no renovable en kWh/m²-año que se obtiene poniendo una caldera de gas natural. La calificación E e inferiores es lo peor posible en calidad del rendimiento y eficiencia, por su materia prima del gas natural (y eso que de los combustibles fósiles es considerado el “mejor dentro de lo peor”).

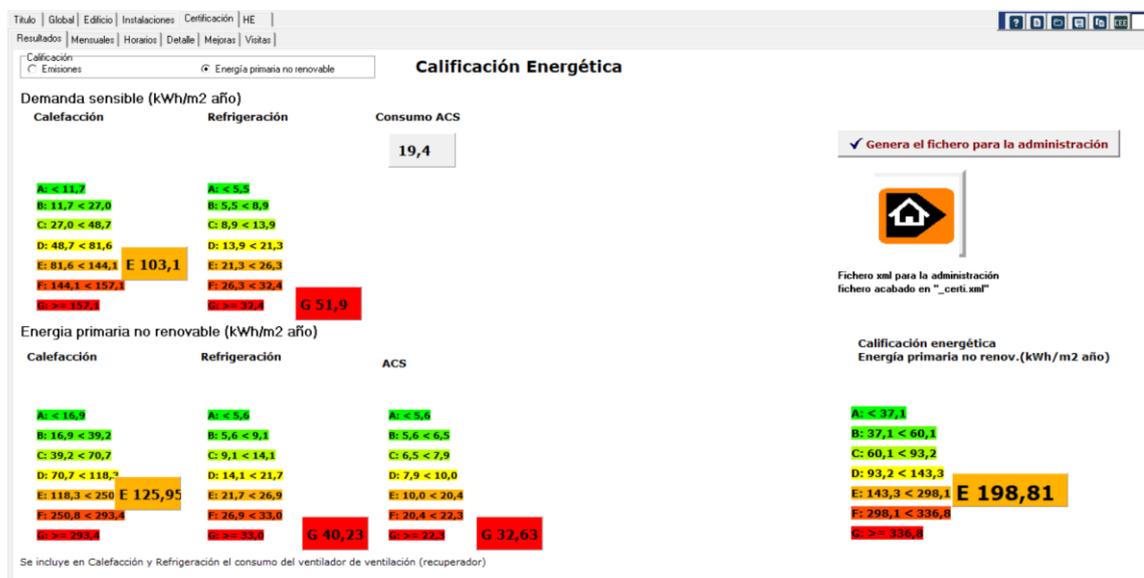


Ilustración 79 Resultados energía primaria fósil edificio residencial por caldera+AC. CERMA

Los ratios de calefacción y de refrigeración para un edificio de viviendas se establece observando su curva de demanda sensible (relacionada con la temperatura exterior e interior a los cerramientos), en energía [kWh] sobre la semana más desfavorable del año por horas, lo cual da como resultado la potencia en kW media.

Así, la demanda de calefacción (en invierno) más desfavorable del año se estudiará en la semana más fría del año: entre el 8 de enero y el 14 de enero (recordando que la Filomena fue más fuerte el 12 de enero de 2021 según la AEMET). Los picos negativos de la ilustración 80 corresponden a las arrancadas de la caldera, pues necesita unas horas de preparación del agua para alcanzar los 60°C, y además porque la gente tradicionalmente ha tenido la costumbre de bajar a 20-21°C en Madrid la calefacción por la noche (es decir, están apagando la caldera, ya que se activa cuando suben el termostato a 22,5°C más o menos). Así, la potencia demandada por el equipo generador de calor (caldera) de los edificios existentes será cuando se estabiliza la gráfica, o sea, en torno a 150 kWh en calefacción la hora. Quedará: $150.000 \text{ W} / 3.000 \text{ m}^2 = 50 \text{ W/m}^2$ es el ratio en calefacción de los edificios de viviendas del barrio Rejas.

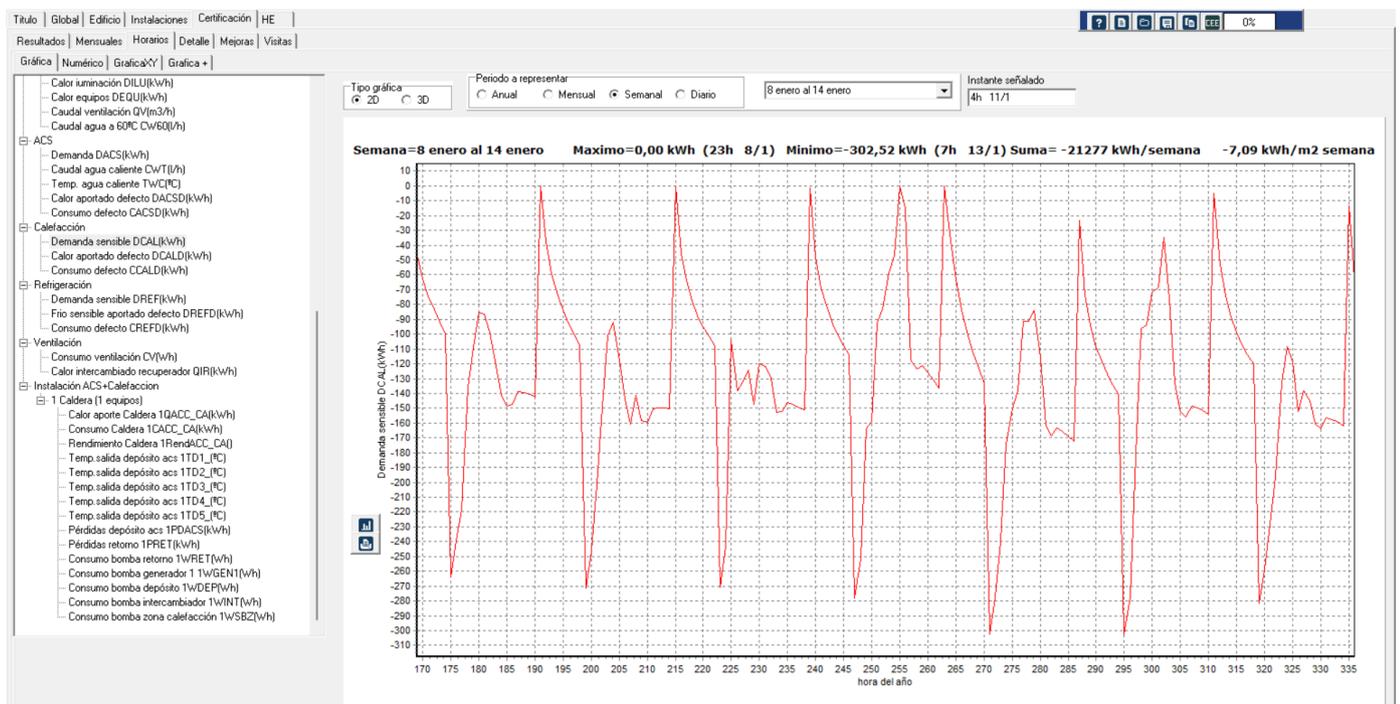


Ilustración 80 Resultados curva de demanda calefacción anual del edificio residencial. CERMA.

En verano, el valor medio de energía demandada de refrigeración en la semana más desfavorable (calurosa) del año entre el 6 de agosto y el 12 de agosto, es de 190 kWh cada hora, según la gráfica de la ilustración 81. Quedará: $210.000 \text{ W}/3.000 \text{ m}^2 = 70 \text{ W/m}^2$ es el ratio en refrigeración de los edificios de viviendas del barrio Rejas.

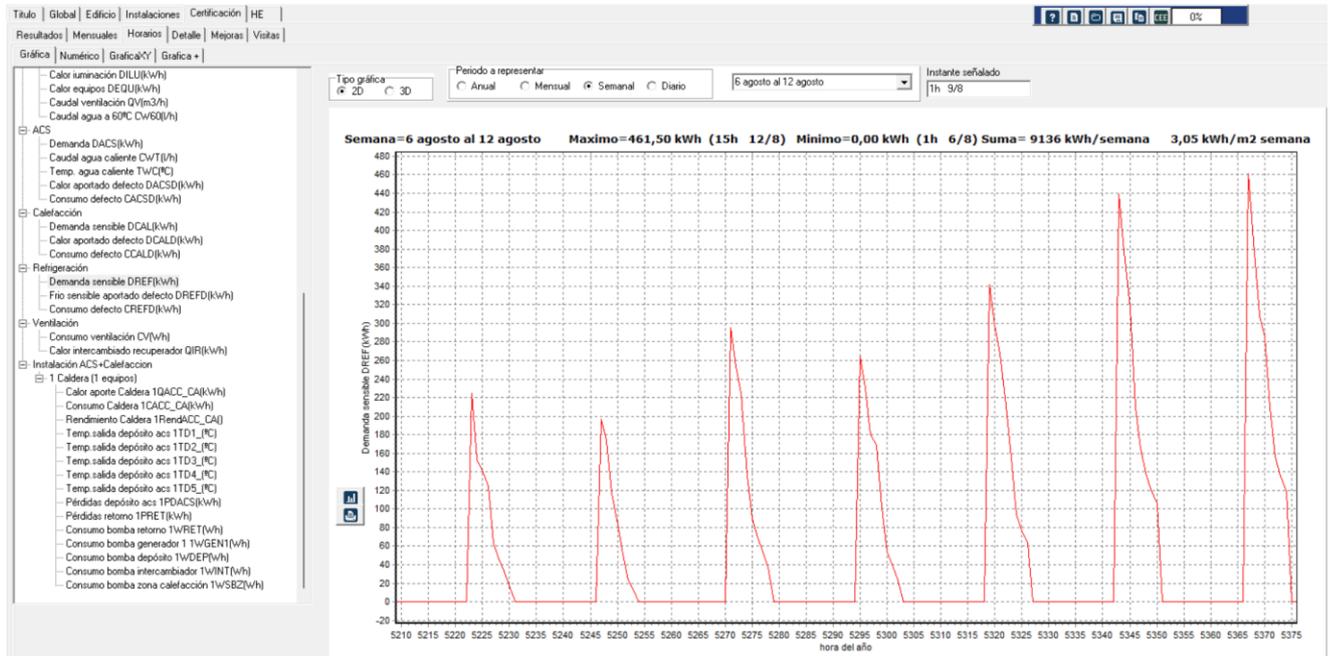


Ilustración 81 Resultados curva de demanda refrigeración anual del edificio residencial. CERMA.

En la ilustración 82, se muestra el perfil de la curva en barras de la demanda sensible de una manera muy clara: la calefacción es más necesaria durante los meses de noviembre a febrero pero se utiliza desde octubre hasta mayo, la refrigeración o aire acondicionado se utiliza entre los meses de junio y septiembre, y la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) permanece constante (en locales húmedos como baños y cocina de las viviendas).

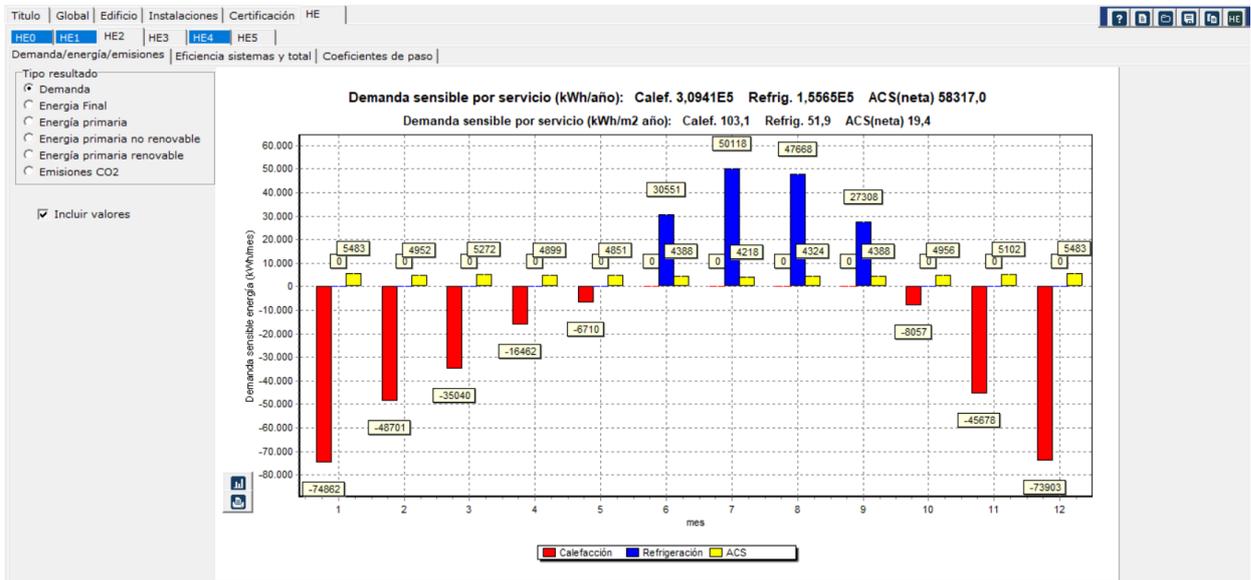


Ilustración 82 Perfil de barras demanda sensible mensual edificio residencial. CERMA.

En los proyectos de climatización de ingeniería, suelen tratarse las demandas como conceptos realistas, y es que existen excepciones denominadas meses de entretiempo y meses de vacaciones, con lo cual se tomará en este proyecto que los meses en los cuales las viviendas demandan calefacción al unísono son de Noviembre a Marzo, refrigeración simultánea en junio y julio, y los demás meses restantes son las excepciones mencionadas.

Por el lujo de comparar alternativas, se va a instalar un modelo de bomba de calor con módulos solares fotovoltaicos en este edificio de viviendas ejemplo. Para la FV (ilustración 83), se considera la mitad de la superficie en planta de la cubierta (de 2000 m² según maps, son 1000 m²) como la cubierta disponible para fotovoltaica, debido a obstáculos generadores de sombras como son las chimeneas, casetones de ascensores y/o escaleras, etc. Una buena regla general es que 0,5 kWp (kilovatios-pico) de módulo fotovoltaico, necesita una superficie de módulo de 2 m² (1 de ancho x 2 de largo) más otros 2 m² de separación necesaria entre filas de módulos, se tiene la relación:

1 módulo FV → 500 Wp real para 4 m² de módulo y fila.

Generador FV → Serán 125.000 Wp necesario para 1.000 m² de cubierta disponible.

Por tanto, si se encontrase un fabricante que haga módulos de 500 Wp, serán:

$125.000 \text{ Wp} / 500 \text{ Wp} = 250$ módulos FV orientados al Sur (azimut 0º hemisferio norte).

La inclinación del módulo FV respecto a la horizontal en Madrid es de 30ºC.

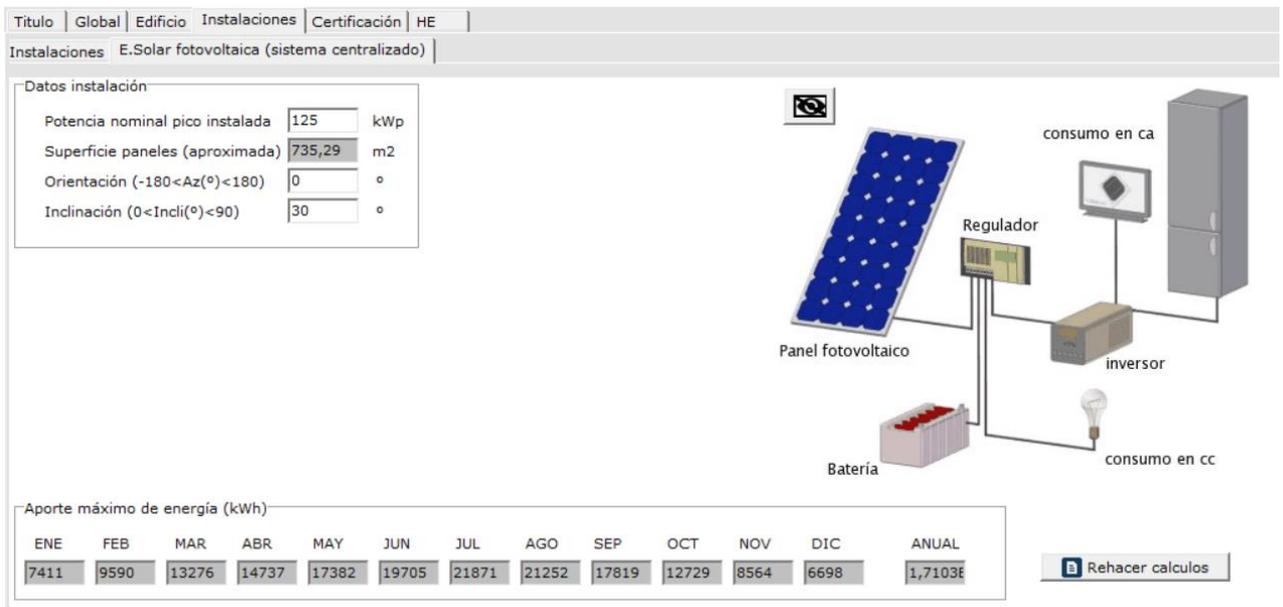


Ilustración 83 Instalación de fotovoltaica en edificio residencial antiguo. CERMA.

Como se demuestra en la ilustración 84, sólo con introducir fotovoltaica, ya se ha mejorado exponencialmente la calificación energética desde la E y F, hasta la A. Esto se debe al CTE-DB-HE 5 de contribución eléctrica de FV en porcentaje, y a la sustitución de la caldera por la bomba de calor. No hay emisiones contaminantes al no utilizarse combustible fósil.

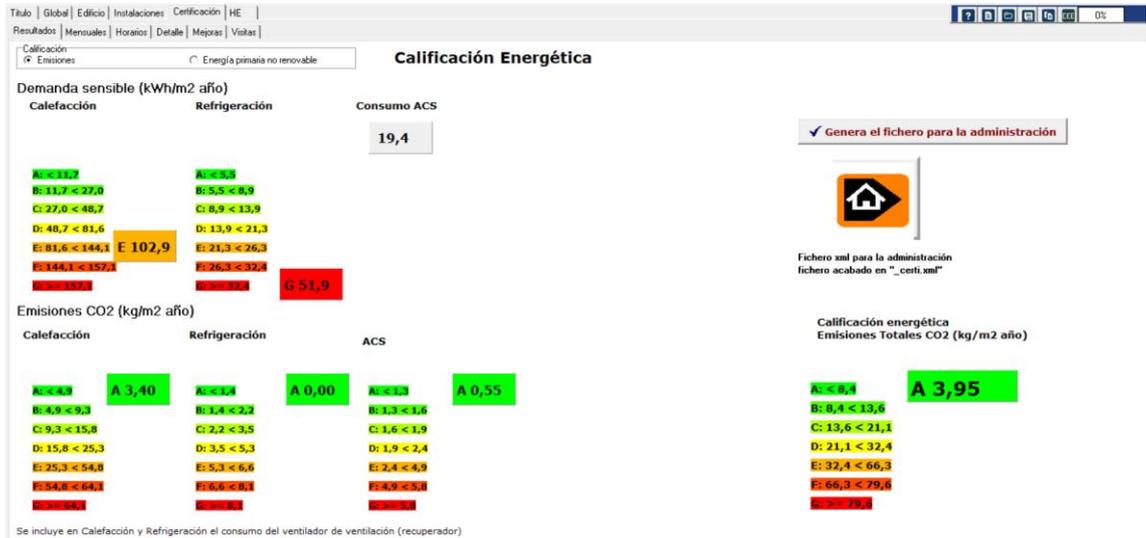


Ilustración 84 Evidencia de optimización de edificio residencial antiguo con BdC+FV. CERMA.

En la ilustración 85, se presenta la certificación propiamente dicha, con un ahorro en emisiones en kg equivalentes de CO₂ al año del 84% total. La calificación energética prueba que se ha pasado de una letra E a una letra A habiendo cambiado sólo el consumo.

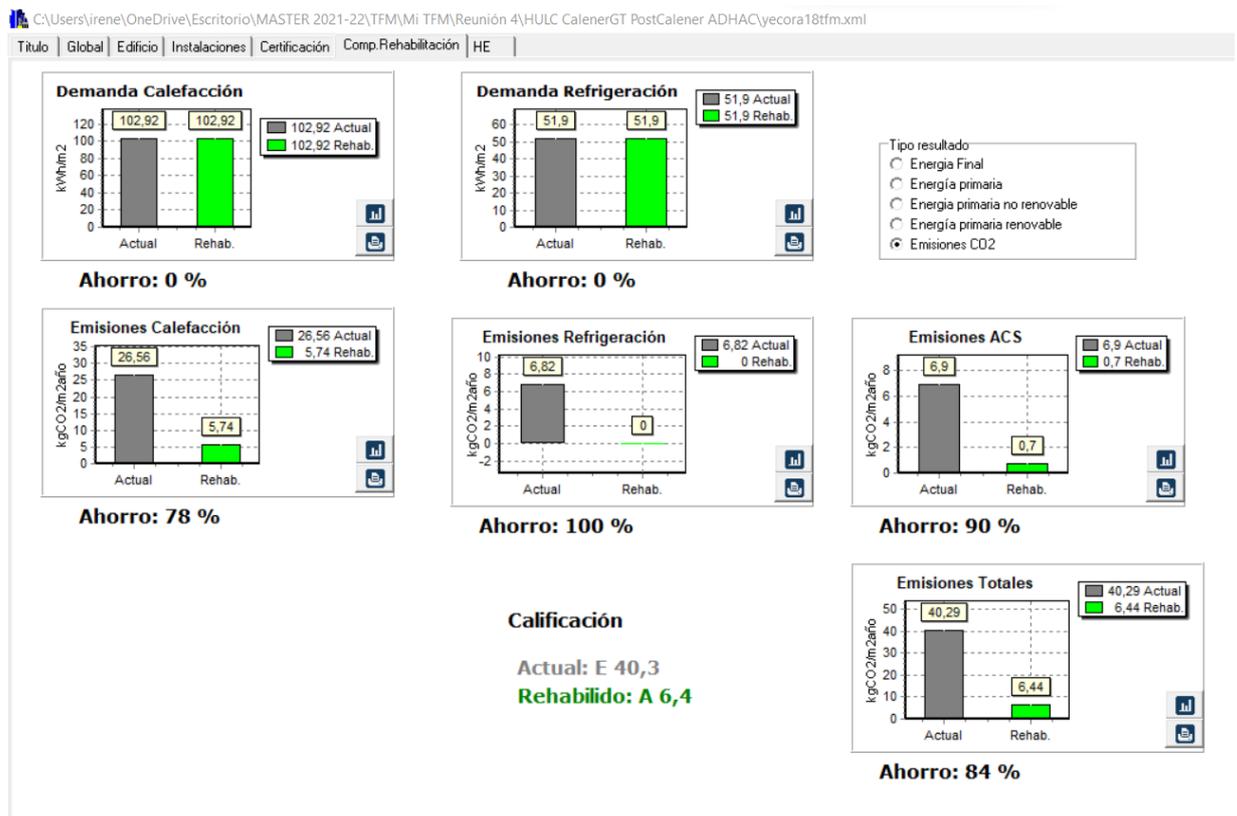


Ilustración 85 Evidencia del ahorro en emisiones del edificio residencial con BdC+FV. CERMA.

Además, se demuestra el ahorro en energía contratada (en este caso se trata no de un ahorro medioambiental, sino de un ahorro energético y económico) en un 81% total de las tres demandas, habiendo pasado de una letra de calificación energética E a una letra B en el caso rehabilitado de las instalaciones (ilustración 86).

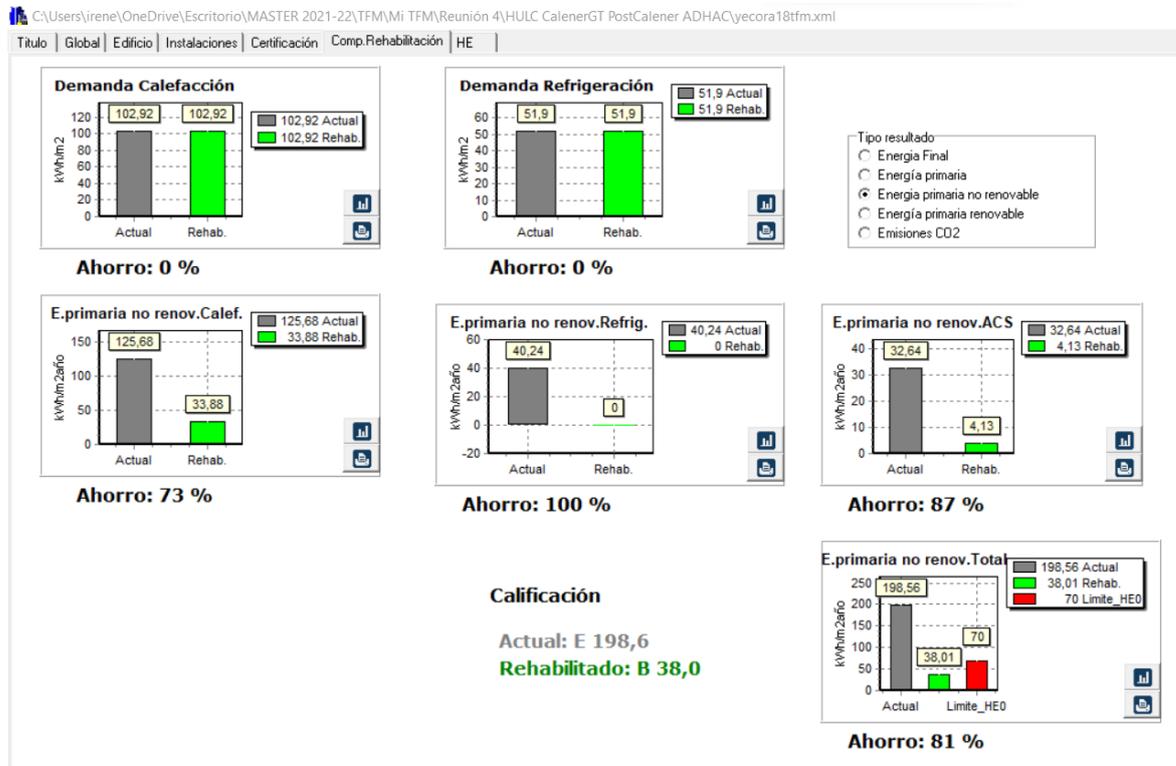


Ilustración 86 Evidencia del ahorro en energía fósil del edificio residencial con BdC+FV. CERMA.

La explicación básica es que si se cambia el consumo (que involucra el rendimiento en base a la calidad de la fuente energética de las máquinas instaladas, según la norma CTE-DB-HE 0), menor será la demanda requerida por parte de las viviendas.

Se reduciría todavía más esta demanda si se hiciera una mejora de rehabilitación y eficiencia energética de la envolvente térmica (según la norma CTE-DB-HE 1), que es un proyecto en sí mismo constantemente realizado en las empresas de ingeniería.

Finalmente, se demuestran los resultados del archivo de la certificación energética que emitió el programa CERMA el día que se calculó, 9 de noviembre de 2022, en orden coherente de una primera imagen mostrando la situación convencional de partida (ilustración 56) y una segunda imagen de las medidas de mejora implementadas (ilustración 87).

La caldera tenía 95% de rendimiento y la bomba de calor ha demostrado tener en este caso 316% (es decir un SCOP y SEER en torno a 3).

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
< 11.70 A	< 5.50 A
11.70 - 27.00 B	5.50 - 8.90 B
27.00 - 48.70 C	8.90 - 13.90 C
48.70 - 81.60 D	13.90 - 21.30 D
81.60 - 144.10 E	21.30 - 26.30 E
144.10 - 157.10 F	26.30 - 32.40 F
≥ 157.10 G	≥ 32.40 G
<i>Demanda de calefacción [kWh/m²·año]</i>	<i>Demanda de refrigeración [kWh/m²·año]</i>

¹ - El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

Ilustración 87 Calificación del archivo con caldera + AC para edificio de viviendas. CERMA.

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60°C (litros/día) 2927,40

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento estacional [%]	Tipo de energía	Modo de obtención
1 BC aire-agua	aire-agua	76,48	316,00	Electricidad	Peninsular Usuario

Fecha (de generación del documento): 09/11/2022
Ref. Catastral: 1172503VK5717C

Página 2 de 6

6. ENERGÍAS RENOVABLES

Térmica

Nombre	Consumo de Energía Final cubierto, en función del servicio asociado [%]			Demanda de ACS cubierta [%]
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Bomba calor, Medio ambiente	68,45	-	67,94	80,43
TOTAL	68,45	0,00	67,94	80,43

Eléctrica

Nombre	Energía eléctrica generada y autoconsumida [kWh/año]
Panel fotovoltaico	122280,00
TOTAL	122280,00

ANEXO II
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona Climática	D3	Uso	BloqueDeViviendaCompleto
----------------	----	-----	--------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
<p>< 8.40 A</p> <p>8.40 - 13.6 B</p> <p>13.60 - 21.1 C</p> <p>21.10 - 32.4 D</p> <p>32.40 - 66.30 E</p> <p>66.30 - 79.60 F</p> <p>≥ 79.60 G</p> <p>Emissiones globales [kgCO_{2e}/m²·año]¹</p>	<p>6,44 A</p>		<p>CALEFACCIÓN</p> <p>Emissiones calefacción [kgCO_{2e}/m²·año]</p> <p>5,74</p>	<p>ACS</p> <p>Emissiones ACS [kgCO_{2e}/m²·año]</p> <p>0,70</p>
	<p>REFRIGERACIÓN</p> <p>Emissiones refrigeración [kgCO_{2e}/m²·año]</p> <p>0,00</p>	<p>ILUMINACIÓN</p> <p>Emissiones iluminación [kgCO_{2e}/m²·año]</p> <p>-</p>		

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO _{2e} /m ² ·año	kgCO _{2e} /año
Emissiones CO ₂ por consumo eléctrico	-	-
Emissiones CO ₂ por otros combustibles	-	-

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
<p>< 37.10 A</p> <p>37.10 - 60.90 B</p> <p>60.10 - 93.2 C</p> <p>93.20 - 143.3 D</p> <p>143.30 - 298.1 E</p> <p>298.10 - 336.80 F</p> <p>≥ 336.80 G</p> <p>Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m²·año]¹</p>	<p>38,01 B</p>		<p>CALEFACCIÓN</p> <p>Energía primaria calefacción [kWh/m²·año]</p> <p>33,88</p>	<p>ACS</p> <p>Energía primaria ACS [kWh/m²·año]</p> <p>4,13</p>
	<p>REFRIGERACIÓN</p> <p>Energía primaria refrigeración [kWh/m²·año]</p> <p>0,00</p>	<p>ILUMINACIÓN</p> <p>Energía primaria iluminación [kWh/m²·año]</p> <p>-</p>		

Ilustración 88 Calificación del archivo con mejora de Bdc + FV para edificio de viviendas. CERMA.

Como se observa en la ilustración 88 entonces, se ha logrado no tener tantas emisiones y reducir mucho el consumo aumentando la eficiencia por la letra calificada.

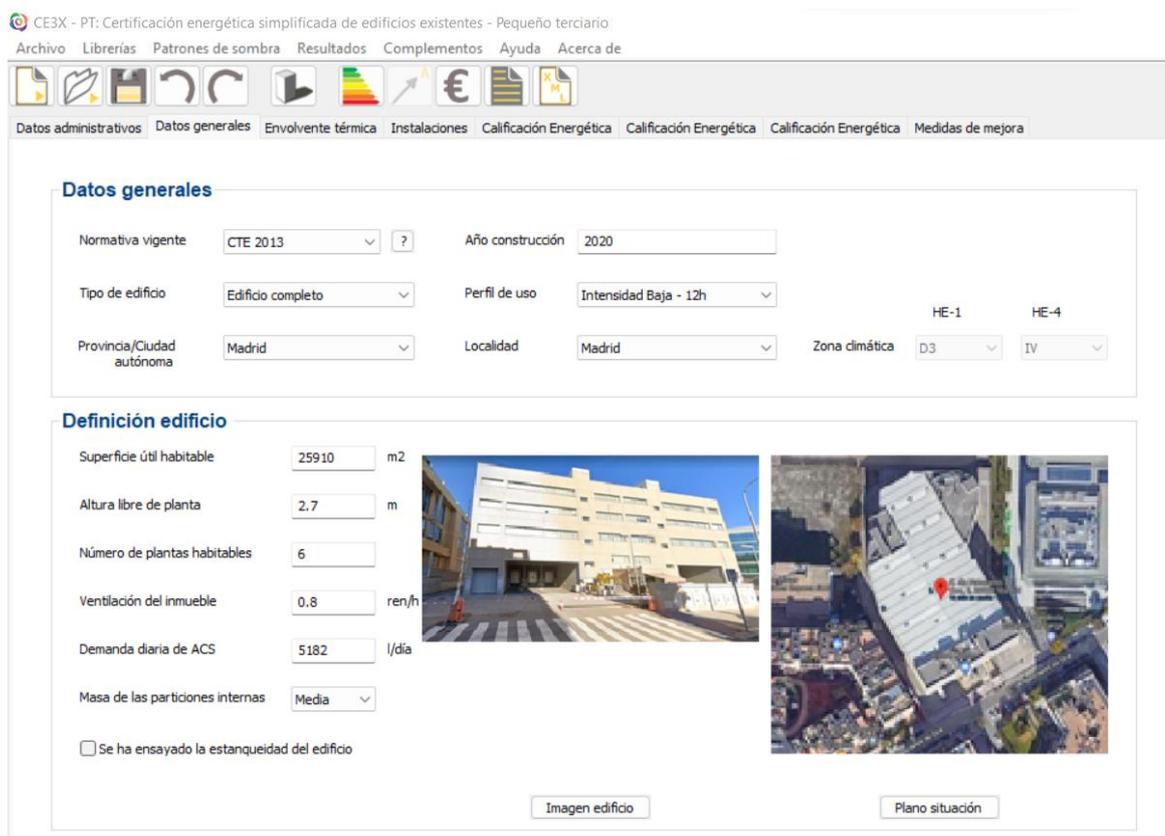
Para realizar la certificación energética de **edificios terciarios** o comerciales, en este proyecto serán edificios de oficinas, -que de nuevo, aunque sea muy empleada en el mundo profesional la Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC) en modalidad GT-, el mejor software que se puede usar es **CE3X**.

En base a los edificios que se van a tener en cuenta para este proyecto (ilustración 89), como son sólo tres, se procederá a certificar el más grande (c/Nanclares de Oca, 5) porque a priori será el que más energía demande y se obtienen los datos necesarios del catastro, de Google maps, y de los requisitos de la certificación pertinentes.

	CALLE EDIFICIO	m2 EDIFICIO	USO DEL EDIFICIO	CARGA REFRIGERACIÓN kW/edificio	CARGA CALEFACCIÓN kW/edificio
1	BELFAST, 23	2864	OFICINAS	286	143
2	NANCLARES DE OCA, 5	25910	OFICINAS	2591	1296

Ilustración 89 Cargas térmicas de edificios de oficinas del barrio Rejas. Elaboración propia en Excel.

Se completan los campos de datos como en la ilustración 90, en base al catastro.



CE3X - PT: Certificación energética simplificada de edificios existentes - Pequeño terciario

Archivo Librerías Patrones de sombra Resultados Complementos Ayuda Acerca de

Datos administrativos Datos generales Envolverte térmica Instalaciones Calificación Energética Calificación Energética Calificación Energética Medidas de mejora

Datos generales

Normativa vigente: CTE 2013 ? Año construcción: 2020

Tipo de edificio: Edificio completo Perfil de uso: Intensidad Baja - 12h

Provincia/Ciudad autónoma: Madrid Localidad: Madrid Zona climática: D3 IV

Definición edificio

Superficie útil habitable: 25910 m2

Altura libre de planta: 2.7 m

Número de plantas habitables: 6

Ventilación del inmueble: 0.8 ren/h

Demanda diaria de ACS: 5182 l/día

Masa de las particiones internas: Media

Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

Imagen edificio Plano situación

Ilustración 90 Datos del edificio de oficinas en CE3X.

En oficinas, se consumen 2 L/día·persona de ACS, según el CTE-DB-HE 4 de Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria, en su Anejo F, tabla c para usos distintos del residencial privado.

Y para conocer la ocupación habitual de una oficina, se consulta el CTE-DB-SI (de Seguridad en caso de incendio) en el capítulo 3 de Evacuación de ocupantes, en la tabla 2.1., la cual señala que la densidad densidades en oficinas es de 10 m²/persona.

Así, se ha llegado a la conclusión de que, por oficina, resulta un:

$$\text{Consumo de ACS} = 2 \text{ L/día·pers} \cdot 1\text{pers}/10 \text{ m}^2 \cdot 25.910 \text{ m}^2 = 5.182 \text{ L/día}$$

Y se conocerán más datos a raíz del consumo y el ratio en invierno:

$$\text{Acumulación de ACS} = \text{Consumo ACS} / 2 = 5.182 \text{ L/día} / 2 = 2.591 \text{ L} \rightarrow 3.000 \text{ L}$$

$$25.910 \text{ m}^2 \text{ habitable} \cdot 50 \text{ W/m}^2 \text{ ratio en Rejas calefacción} = 1300 \text{ kW para la caldera.}$$

El edificio de oficinas tiene, según Google maps, 94 m largo x 53 m ancho = 5.000 m².

Por el catastro, se conoce que tiene 6 plantas (desde PBaja a P5), con lo cual 6 plantas · 2,7 m cada planta = 16,2 m altura.

Fachada (alzado) NE y SO: 6 plantas · 2,7 m altura/planta · largo 94 m = 1.523 m².

Fachada NO y SE: 53 m ancho · 16,2 m alto = 859 m².

Siempre se considera que el 20% de la fachada son huecos (ventanas) y para sus orientaciones se ve el edificio rectangular hacia el norte.

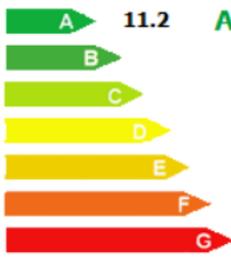
- Fachada NE y SO: 94 m largo · 16,2 m alto · 0,20 = 305 m²
- Fachada NO y SE: 53 m ancho · 16,2 m alto · 0,20 = 172 m²

En el CTE-DB-HE 3, la tabla 3.2. de potencia máxima por superficie iluminada indica que, según los 500 lx de iluminancia que sugiere el programa CE3X, para otros usos distintos al aparcamiento e inferiores de 600 lx, la potencia máxima a instalar será de 10 W/m². Se tiene, por tanto, que: 10 W/m² · 25.910 m² habitable oficinas / 2 = 129.550 W en iluminación.

Es cierto que los resultados que genera el programa CE3X son algo escuetos, pero muestran la letra total de las demandas y emisiones, que a priori vale para hacerse una idea de cuánto mejora la situación el haber ya implementado las mejoras de bomba de calor y fotovoltaica a este edificio de oficinas. Véase la ilustración 91.

Calificación energética del edificio con el conjunto de medidas de mejora

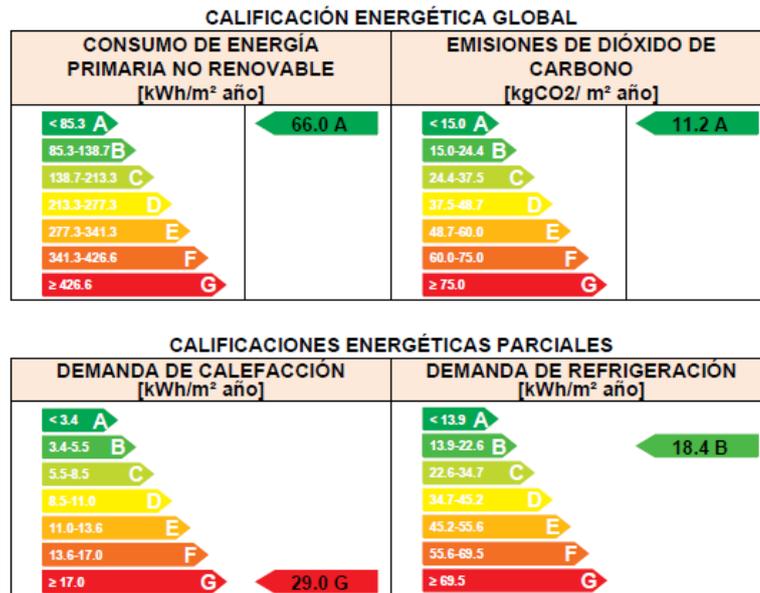
RESULTADOS	Medidas mejora	Caso base	Ahorro
Demanda de calefacción	29.0 G	29.0 G	0.0 %
Demanda de refrigeración	18.4 B	18.4 B	0.0 %
Emisiones de calefacción	3.4 C	9.0 G	62.0 %
Emisiones de refrigeración	1.6 A	4.1 B	60.0 %
Emisiones de ACS	0.3 B	1.2 G	79.5 %
Emisiones de iluminación	5.9 A	5.9 A	0.0 %
EMISIONES GLOBALES	11.2 A	20.2 B	44.7 %



The figure includes a horizontal bar chart on the right side of the table. It shows a scale from A (green) to G (red). A green arrow labeled 'A' points to the value '11.2' and another 'A' is placed to its right. Below this, arrows for B, C, D, E, F, and G are shown in descending order of length and increasing color intensity from green to red.

Ilustración 91 Resultados globales de las emisiones del edificio de oficinas. CE3X.

El programa genera un archivo de certificación energética, como se observa en la ilustración 92. La letra G, fíjese que el ahorro en demanda es 0%, porque la demanda tanto en calefacción como en refrigeración tiene que ver con los cerramientos del edificio, el cual no ha tenido ninguna rehabilitación de la envolvente térmica y además está ubicado en Madrid (zona climática D3), por lo que tiene mayor gasto de calefacción que de refrigeración por falta de aislamiento térmico. Lo que sí demuestra la enorme mejora al sustituir una caldera con aire acondicionado con una bomba de calor y fotovoltaica, son las letras A en el consumo de energía primaria y emisiones.



ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m ² año]	10.37	71.1%	4.90	60.0%	0.76	84.4%	17.74	0.0%	33.78	52.3%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m ² año]	20.27	E 52.5%	9.58	A 60.0%	1.49	B 74.4%	34.66	A 0.0%	66.00	A 38.4%
Emisiones de CO ₂ [kgCO ₂ /m ² año]	3.43	C 62.0%	1.62	A 60.0%	0.25	B 79.5%	5.87	A 0.0%	11.18	A 44.7%
Demanda [kWh/m ² año]	29.03	G 0.0%	18.44	B 0.0%						

Nota: Los indicadores energéticos anteriores están calculados en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio, por lo que solo son válidos a efectos de su calificación energética. Para el análisis económico de las medidas de ahorro y eficiencia energética, el técnico certificador deberá utilizar las condiciones reales y datos históricos de consumo del edificio.

Ilustración 92 Certificación archivo con ahorros energéticos en edificio de oficinas.

Y sólo para demostrar el rendimiento real (en la ilustración 93):

- una bomba de calor para calefacción, refrigeración y ACS, que da 2,8 de SCOP; 3,76 de SEER y 5,18 de SCOP, respectivamente a sus servicios,
- comparada con una caldera de gas natural para sólo calefacción y ACS, que da 81% (0,81), y la unidad Split de aire acondicionado que da 1,5 de SEER.

INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/m ² año]		[kW]	[%]	[kWh/m ² año]	[kWh/m ² año]
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	1300	80.9%	-	-	-	-	-	-
Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor	-	279.9%	-	-
TOTALES									

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/m ² año]		[kW]	[%]	[kWh/m ² año]	[kWh/m ² año]
Sólo refrigeración	Maquina frigorífica		150.4%	-	-	-	-	-	-
Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor	-	376.1%	-	-
TOTALES									

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/m ² año]		[kW]	[%]	[kWh/m ² año]	[kWh/m ² año]
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	1300	80.9%	-	-	-	-	-	-
Calefacción, refrigeración y ACS	-	-	-	-	Bomba de Calor	-	518.6%	-	-
TOTALES									

Ilustración 93 Comparación certificada bomba de calor y caldera en edificio de oficinas.

En el curso “Diseño de Sistemas de Climatización en Data Centers”, el ponente mencionó que siempre se toma el ratio de refrigeración en oficinas como 100 W/m^2 (ya que hay más ordenadores e impresoras-fotocopiadoras en oficinas comparado con el ratio 70 W/m^2 de las viviendas, así como calor latente de mayor ocupación de personal), y en cuanto a calefacción las oficinas en Madrid operan a 50 W/m^2 como las viviendas. [22]

Es con todos los datos mencionados, con lo que se ha llegado al cálculo total de la ilustración 63.

Nº EDIFICIOS TOTALES	DEMANDA VERANO kW	DEMANDA INVIERNO kW
11	5.095	3.022
Factor de simultaneidad = 0,65		
3.311		

Ilustración 94 Total cargas térmicas de este TFM. Elaboración propia en Excel.

Más adelante, en Ingeniería básica, se explicará el factor de simultaneidad.

La enumeración de los edificios considerados cerca del centro de datos Global Switch se ha efectuado como en la ilustración 95. Será muy útil para el cálculo de la red de tuberías y otros elementos.



Ilustración 95 Enumeración de los edificios certificados en este TFM. Google Maps y edición propia con Word.

Se están abasteciendo 3 MW térmicos a 3.754 personas (CTE-DB-SI 3 $\rightarrow 10 \text{ m}^2/\text{pers}$ en oficinas, CTE-DB-HE Anejo F del HE4 $\rightarrow 313 \text{ viviendas} \cdot \text{factor } 0,70 \cdot 4 \text{ pers} = 876 \text{ pers}$).

4.2. ACCIONES Y SEGURIDAD ESTRUCTURAL – CÁLCULOS

Este apartado ha recibido el nombre de las dos normativas en que se basa:

- CTE-DB-AE, de Acciones en la Edificación
- CTE-DB-SE, de Seguridad Estructural

Se va a analizar y comprobar si la cubierta del edificio del CPD aguantaría las cargas y acciones externas que pudiera haber sobre la misma, y justificar por qué es más seguro construir un edificio para uso sala de máquinas (que contenga las máquinas de este proyecto) en la parcela de terreno anexa al edificio existente del CPD.

Se conoce que el CPD Global Switch del barrio Rejas tiene una carga de suelo total de 9kN/m² en las 3 plantas + cubierta. Lo que quiere decir que la cubierta (categoría de uso F) sola aguantará una carga de 1,8 kN/m² (que como viene de un dato, se entiende que ya incluye sobrecargas de uso, de viento, de nieve, peso propio, etc., y que estas cargas uniformemente distribuidas se han mayorado a lineales para cada viga que tenga la cubierta como forjado, atendiendo a la norma SE), lo cual entra en el rango de valores estandarizados para cubiertas en la norma AE (véase la ilustración 96).

Tabla C.5 Peso propio de elementos constructivos

Elemento	Peso
Forjados	kN / m ²
Chapa grecada con capa de hormigón; grueso total < 0,12 m	2
Forjado unidireccional, luces de hasta 5 m; grueso total < 0,28 m	3
Forjado uni o bidireccional; grueso total < 0,30 m	4
Forjado bidireccional, grueso total < 0,35 m	5
Losa maciza de hormigón, grueso total 0,20 m	5
Cerramientos y particiones (para una altura libre del orden de 3,0 m) incluso enlucido	kN / m
Tablero o tabique simple; grueso total < 0,09 m	3
Tabicón u hoja simple de albañilería; grueso total < 0,14 m	5
Hoja de albañilería exterior y tabique interior; grueso total < 0,25 m	7
Solados (incluyendo material de agarre)	kN / m ²
Lámina pegada o moqueta; grueso total < 0,03 m	0,5
Pavimento de madera, cerámico o hidráulico sobre plastón; grueso total < 0,08 m	1,0
Placas de piedra, o peldañeado; grueso total < 0,15 m	1,5
Cubierta, sobre forjado (peso en proyección horizontal)	kN / m ²
Faldones de chapa, tablero o paneles ligeros	1,0
Faldones de placas, teja o pizarra	2,0
Faldones de teja sobre tableros y tabiques palomeros	3,0
Cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida	1,5
Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,5
Rellenos	kN / m ³
Agua en aljibes o piscinas	10
Terreno, como en jardineras, incluyendo material de drenaje ⁽¹⁾	20

⁽¹⁾ El peso total debe tener en cuenta la posible desviación de grueso respecto a lo indicado en planos.

Ilustración 96 Tabla C.5. Fuente: Anejo C. Prontuario de pesos y coeficientes de rozamiento interno, CTE-DB-AE.

A priori, tolera $18 \text{ ton/m}^2 \cdot 70 \text{ m}^2 = 1.260$ toneladas.

Por otro lado, se observa con detenimiento la cubierta que tiene el CPD en la ilustración 97.



Ilustración 97 Cubierta del Global Switch de Rejas. Fuente: Google Maps.

Se observa que requiere zonas de circulación para el personal, por tanto se estima que puede estar ocupado por máquinas en un tercio neto, pero además tiene obstáculos como casetones y escaleras, y eso puede estimarse en un factor de 0,6-0,7. Al final, realmente el peso del que puede disponer en cubierta para máquinas de climatización se queda en 266 toneladas.

Como este CPD tiene 24.000 kW de capacidad frigorífica, y cada enfriadora aire-agua tendrá 2.000 kW, en cubierta tiene 12 chillers.

Se parte de un modelo de chiller aire-agua del fabricante Carrier semejante al modelo agua-agua que se ha seleccionado: que tiene 2.000 kW y pesa 17 toneladas. El peso total de las 12 chillers entonces será de 204 toneladas. Si se pretende reemplazar una de las chillers, pero también añadir a la cubierta las máquinas de la ilustración 98:

Máquinas	1 chillers agua-agua de 17 ton -->	17 ton		
nuevas:	2 BCHT de 8 ton -->	16 ton		
	2 enfr. de absorción de 17,6 ton -->	35,2 ton		
	2 torres de refrigeración de 13 ton -->	26 ton		
	Bombas circuladoras -->	8,4 ton		
	Acumulador de inercia de 10.000 L -->	10 ton		
	Depósitos de expansión -->	1,06 ton		
	Válvulas y tuberías preaisladas -->	12,96 ton	216 kg/m (DN400)	60 m
	TOTAL sala Maquinas -->	139,3 ton		

Ilustración 98 Peso total de las máquinas presupuestadas en este proyecto. Elaboración propia en Excel.

Entonces quedará la justificación (en la ilustración 99) de que la cubierta del CPD no soportará ni tendrá el suficiente espacio para abarcar las máquinas nuevas:

326 ton (máquinas nuevas) > **266 ton** (cubierta) > 204 ton (máquinas actuales).

12 chillers aire-agua -->	204 ton
11 chillers aire-agua (187 ton) + máquinas nuevas (139,3 ton) -->	326 ton

1.260 ton	En máquinas tiene:	266 ton
Si 24 MWfrig, tendrá chillers aire-agua de 2000 kW y 17 ton):		12 chillers (MW) 204 ton pesan

Ilustración 99 Justificación del peso en cubierta por maquinaria. Elaboración propia en Excel.

Así pues, construir el edificio de la sala de máquinas servirá para proteger las máquinas, tuberías y pequeños elementos de control, así como también servir de cubierta extra para instalar más módulos fotovoltaicos.

Las torres de refrigeración irán fuera de la sala de máquinas, pero se considerarán parte de la sala porque estarán en la misma parcela.

En cuanto a la parte constructiva, todos los detalles de la sala de máquinas como local y su ventilación se podrá consultar en el Capítulo 8 Pliego de condiciones de este proyecto.

4.3. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA – CÁLCULOS

La instalación de energía solar fotovoltaica contribuirá en el mayor porcentaje posible a la alimentación eléctrica de las máquinas de la central en este proyecto, y se consultaría la norma *CTE-DB-HE 5 Generación mínima de energía eléctrica*, pero en este proyecto la FV no se toma como exigencia, sino como un añadido. Además, este sistema fotovoltaico no constará de baterías de acumulación porque toda la energía que produzcan será consumida en tiempo real. Se conectará el generador fotovoltaico (el campo de módulos solares) directamente al cuadro eléctrico de circuitos correspondientes al primario de la red DHC.

Para determinar la potencia de este generador fotovoltaico se requerirá conocer la potencia absorbida de dichos equipos, que en los que tienen compresor se calcula como la diferencia de la potencia calorífica del condensador menos la frigorífica del evaporador. La torre tendrá el consumo del motor del ventilador y se añadirá un 5% de la bomba circuladora en el interior de la torre. La máquina de absorción no tiene compresor, pero sí tiene bomba de absorbente, bomba de refrigerante, y bomba de purga, además de un consumo eléctrico por el calentador de célula de paladio y el circuito de control. El consumo eléctrico de las bombas circuladoras de agua reside en el motor. Los servomotores de las válvulas de tres vías (es decir, los elementos de control) consumen muy poca electricidad en una instalación de esta magnitud.

La potencia de los receptores eléctricos de este proyecto tiene un total de:

1 chiller agua-agua de 235 kWe	235 kW
Máquinas de District heating (calefacción) → 1.397 kWe	
2 BCHT agua-agua de 606 kWe	1.212 kW
Bomba circuladora principal B1 de red DH	160 kW
B2 tras condensador de BCHT de 2,2 kWe	2,2 kW
B3 antes del evaporador de BCHT de 4 kWe	4 kW
B4 (1) tras el condensador de chillers de 18,5 kWe	18,5 kW
1 bomba del depósito de expansión de DHC de 4000 L	0,5 kW
Máquinas de District cooling (refrigeración) → 1.641 kWe	
2 Enfriadoras de absorción de 4,14 kWe	8,28 kW
2 torres de refrigeración de 23 kWe	46 kW
B5 red DC de 160 kW	160 kW
B6 bombas antes del evaporador de máq. Absorc. de 7,5 kWe	7,5 kW
B7 bombas antes del condensador de máq. Absorc. de 22 kWe	22 kW
TOTAL	1.876 kW

Una vista del alzado y perfil del edificio del CPD Global Switch de Rejas se muestra en la ilustración 100.



Ilustración 100 Edificio del CPD. Fuente: Google Maps 2022.

Y una vista en planta de la nave a dos aguas se presenta en la ilustración 101, disponible para colocación de módulos fotovoltaicos.

Superficie cubierta de FV sobre el CPD

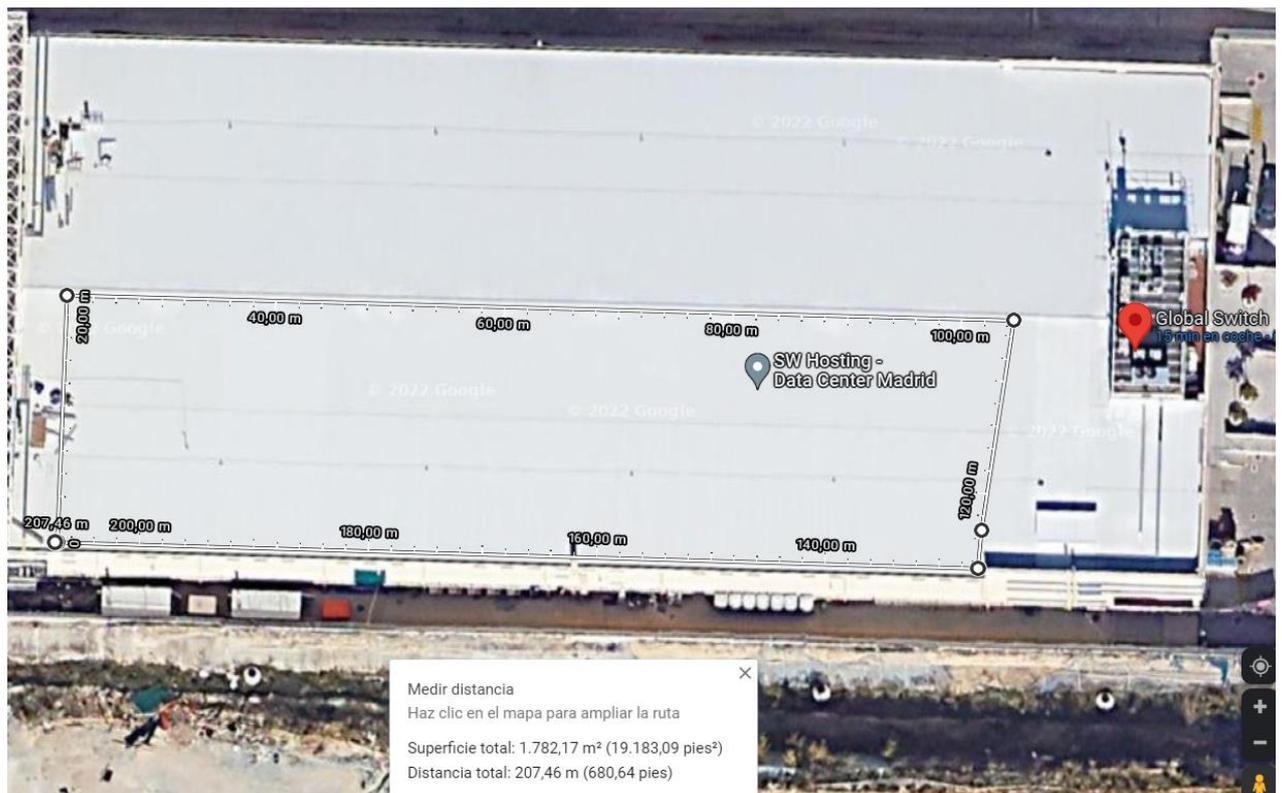


Ilustración 101 Superficie medida de inclinación 15°. Fuente: Google Maps.

Habiendo medido el área en Google Maps, ilustración 109, se conoce que la superficie inclinada a unos 15º hacia el sur, es de **1.782 m² (de 81 m de largo por 22 m de ancho)**.

Para la instalación objeto de este proyecto, todos los módulos monocristalinos serán del fabricante español Trina Solar - Vertex, modelo TSM-DE18M(II), de 2,2 x 1,1 m de área útil, 510 Wp y 21,2% que es considerado muy eficiente (los módulos FV suelen estar entre 16 y 22%), y no es de extrañar porque tiene 150 células (cuando suelen tenerse alrededor de 80).

Sobre el faldón de la nave, los módulos se conectarán entre sí en serie formando cadenas (strings) que a su vez se conectarán en paralelo, sabiendo que en serie el voltaje es igual a la suma de los voltajes de cada módulo y que en paralelo la intensidad es la suma de las intensidades. Los terminales de los módulos fotovoltaicos se encontrarán en una caja adosada a su cara posterior y protegida de la intemperie (de los efectos del polvo y de la lluvia).

Para minimizar los efectos de los **puntos calientes***, se dotarán estos módulos de diodos de paso en paralelo con las células asociadas en serie para evitar daños irreversibles, e incluidos en la caja de conexiones, y también de diodos de bloqueo en serie con cada fila de módulos conectada en paralelo con las demás.

***Puntos calientes:** Cuando una célula o células del módulo tengan sombra, la intensidad de funcionamiento del módulo superará a la intensidad de cortocircuito disminuida de la célula sombreada. Dicha célula intentará disipar potencia, provocando su sobrecalentamiento localizado.

Por este motivo lógico, a la hora de medir la superficie se evitaron elementos que pudieran provocar sombra a los módulos.

Esta instalación no afectará a la estructura del edificio, dado el bajo peso por unidad de superficie que tienen los módulos fotovoltaicos (unos 11 kg/m²). No necesitarán estructura metálica de soporte pero sí guías de anclaje que los conecten al tejado.

Luego, quedará como en la ilustración 102.



Ilustración 102 Módulos FV sobre cubierta del CPD. Fuente: Else Consultores.

La relación que permitirá conocer cuántos pueden cubrir el faldón orientado al sur, será:

$$\frac{1.782 \text{ m}^2}{(2,2 \times 1,1) \frac{\text{m}^2}{\text{módulo}}} = 736 \text{ módulos FV sobre la nave industrial como máximo}$$

La repartición de los módulos -si la cubierta disponible tiene 81 m de largo y 22 m de ancho- quedará de la siguiente forma: Se instalarán 40 cadenas conectadas en paralelo (N_p), cada una de ellas con 16 módulos conectados en serie (N_s).

Las 40 cadenas o strings se conectarán al único inversor de la instalación.

Correspondientes a una potencia de: $0,51 \text{ kWp/módulo} \cdot 640 \text{ módulos} = \mathbf{326,4 \text{ kWp}}$.

Inversor trifásico de 300 kW

El acondicionamiento de la corriente aportada por el generador fotovoltaico consistirá en la adaptación de CC a CA a onda sinusoidal pura con 50 Hz y 400 V (es decir, se requiere un inversor trifásico). El inversor es el dispositivo encargado de convertir la corriente continua (CC o en inglés DC) producida en el generador fotovoltaico en corriente alterna (CA) para su uso en los receptores eléctricos de la instalación, con los parámetros adecuados de tensión y frecuencia. Específicamente, un inversor se selecciona por su tensión nominal de entrada, su potencia nominal y su eficiencia. Debe ser capaz de recibir una potencia superior a la nominal durante los períodos de tiempo de mayor radiación solar.

La potencia del inversor se calcula en base a la potencia del generador fotovoltaico, y considerando admitir con holgura la máxima potencia captada por los módulos de la radiación solar. No obstante, no debe sobredimensionarse para que no disminuya su eficiencia. La eficiencia del inversor indica cómo se comporta a niveles de potencia distintos al nominal, principalmente a baja potencia, y tiene en cuenta las pérdidas en CC (módulos), y su propio consumo para poder realizar la conversión de CC a CA.

Para la instalación objeto de este proyecto, el inversor será de la marca Zigor ZGR Solar, modelo CTR 300, por sus seguras y fiables prestaciones.

Este equipo se presenta en un único bloque de potencia, con sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), configuración desde pantalla (display), envolvente de acero con protección IP20 para instalación en interior o exterior. Incluye seccionadores integrados en el sistema, protección contra sobretensiones DC, autodiagnóstico, y entrada de bornas al sistema MPPT, así como protecciones frente a polarización inversa, cortocircuitos y sobrecargas en la salida, anti-isla con desconexión automática y fallo de aislamiento.

El rango de tensiones de entrada en el seguimiento del punto de máxima potencia (MPP) del inversor es de **590 a 850 Vdc** y la tensión máxima en vacío de **1.500 Vdc**, por lo que es necesario comprobar si los parámetros del generador fotovoltaico están dentro de esos márgenes en el intervalo de temperaturas de células comprendido entre -10°C y 70°C , realizando el estudio en los extremos por ser los casos más desfavorables. Para ello, deben tenerse en cuenta las siguientes características del módulo:

Tensión a circuito abierto (V_{oc})	52,1 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	12,42 A
Tensión a potencia máxima (V_{mpp})	43,2 V
Coefficiente tensión-temperatura (CTT)	-0,13 V/ $^{\circ}\text{C}$

Coeficiente intensidad-temperatura (CIT) 0,005 A/°C

- Comprobación de tensión mínima en el MPP:

$$\text{En el módulo: } V_{mpp} (70^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} + CTT \cdot (T - 25) = 43,2 - 0,13 \cdot (70 - 25) = 37,35 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{mpp}} (70^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} (70^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 37,35 \text{ V/mod} \cdot 16 \text{ mod} = 597,6 \text{ V} > 590 \text{ V}$$

- Comprobación de tensión máxima en el MPP:

$$\text{En el módulo: } V_{mpp} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} + CTT \cdot (T - 25) = 43,2 - 0,13 \cdot (-10 - 25) = 47,75 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{mpp}} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} (-10^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 47,75 \text{ V/mod} \cdot 16 \text{ mod} = 764 \text{ V} < 850 \text{ V}$$

- Comprobación de tensión máxima en vacío:

$$\text{En el módulo: } V_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{oc} + CTT \cdot (T - 25) = 52,1 - 0,13 \cdot (-10 - 25) = 56,65 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{oc}} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 56,65 \text{ V/mód} \cdot 16 \text{ mód} = 906,4 \text{ V} < 1.500 \text{ V}$$

- Comprobación de intensidad máxima:

$$\text{En el módulo: } I_{sc} (70^{\circ}\text{C}) = I_{sc} + CIT \cdot (T - 25) = 12,42 + 0,005 \cdot (70 - 25) = 12,65 \text{ A}$$

$$\text{En el generador: } I_{G_{sc}} (70^{\circ}\text{C}) = I_{sc} (70^{\circ}\text{C}) \cdot N_p = 12,65 \text{ A/cadena} \cdot 40 \text{ cadenas} = 506 \text{ A} < 521 \text{ A}$$

Superficie cubierta de FV sobre la sala de máquinas (parcela)

A continuación, se calculará la sala de máquinas que constituye la central de este proyecto. Para lo cual se recogen las dimensiones de todas las máquinas.

Largo(L)xAncho(W)xAlto(H):

Chillers agua-agua $\rightarrow 5,2 \times 3 \times 3,4$ m $7,4 \text{ m}^2$ (x1 máq.) = $7,4 \text{ m}^2$ h = 3,4 m

BCHT $\rightarrow 4,7 \times 1,15 \times 2,07$ m $5,4 \text{ m}^2$ (x2 máq.) = 11 m^2 h = 2 m

Enfriadoras de absorción $\rightarrow 6,24 \times 1,95 \times 3,2$ m $12,2 \text{ m}^2$ (x2 máq.) = $24,4 \text{ m}^2$ h = 3,2 m

El depósito de expansión de 4000 L tiene 1,5 m de diámetro ($1,78 \text{ m}^2$) y 3,16 m de altura.

El acumulador de inercia de 10.000 L, que puede tener 2,3 m de diámetro (4 m^2) y 2,8 m de altura.

Las bombas circuladoras tienen 2 m^3 , luego como máximo tendrán 2 m de altura, con diámetro máximo de 0,5 m ($0,19 \text{ m}^2$). Hay 10 bombas.

Nota: Las torres de refrigeración irán fuera de la sala de máquinas, porque tienen que disipar el aire. Se considerarán los colectores con las bombas y el área que ocupan.

Se dejará 1,5-2 m con los cerramientos de fachada para dejar los espacios convenidos con la normativa para poder realizar el mantenimiento, y 2,5 m entre las máquinas. Se considerará un pasillo en la zona central (para colocación de un par de sumideros sifónicos, es decir desagües) de 2 m de ancho. En las puertas de acceso, se dejará un espacio de 4 m^2 , y en pared suelen tener de largo 2 m.

Con estos criterios, las dimensiones totales de la SALA quedan: 20 m x 17,5 m x 4,5 m.

Con lo que el área de la sala de máquinas será de **350 m^2** .

En este caso, la sala de máquinas se ha construido con una inclinación del tejado de 10° para tampoco necesitar estructura metálica de soporte pero de nuevo sí guías de anclaje que conecten los módulos al tejado. De modo que, la cubierta de la sala tendrá su **punto más alto a: $4,5 \text{ m} + \text{sen}(10^\circ) \cdot [20 \text{ m}/\text{cos}(10^\circ)] = 8 \text{ m del suelo}$** .

Asimismo, la cubierta tendrá un área de $[20,3] \text{ m} \times 17,5 \text{ m} = 355 \text{ m}^2$.

Esta segunda instalación tampoco afectará a la estructura de la sala construida sobre la parcela de terreno, pues cada uno de los módulos tienen una carga a soportar de 14 kg/m^2 .

Ante un área de 20,3 m de largo x 17,5 m de ancho, el número de módulos con los que se podrá cubrir el faldón orientado al sur, será:

$$\frac{355 \text{ m}^2}{(2,2 \times 1,1) \frac{\text{m}^2}{\text{módulo}}} = 146 \text{ módulos FV sobre la nave industrial como máximo}$$

La repartición de los módulos quedará de la siguiente forma: Se instalarán 8 cadenas conectadas en paralelo (N_p), cada una de ellas con 16 módulos conectados en serie (N_s).

Las 8 cadenas o strings se conectarán al único inversor de esta parte de la instalación.

Correspondientes a una potencia de: $0,51 \text{ kWp/módulo} \cdot 128 \text{ módulos} = \mathbf{65,3 \text{ kWp}}$.

Inversor trifásico de 70 kW

Para la instalación objeto de este proyecto, se han seleccionado dos inversores de la marca Zigor ZGR Solar, modelos STR 20 y STR 50, de rendimientos del 98% como el anterior de 300 kW.

Este equipo se presenta en un único bloque de potencia, con sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), configuración desde pantalla (display), envolvente de acero con protección IP65 para instalación en interior o exterior. Incluye seccionadores integrados en el sistema, protección contra sobretensiones DC, autodiagnóstico, y entrada de bornas al sistema MPPT, así como protecciones frente a polarización inversa, cortocircuitos y sobrecargas en la salida, anti-isla con desconexión automática y fallo de aislamiento.

El rango de tensiones de entrada en el seguimiento del punto de máxima potencia (MPP) del inversor es de **480 a 800 Vdc** y la tensión máxima en vacío de **1.000 Vdc**, por lo que es necesario comprobar si los parámetros del generador fotovoltaico están dentro de esos márgenes en el intervalo de temperaturas de células comprendido entre -10°C y 70°C , realizando el estudio en los extremos por ser los casos más desfavorables. Para ello, deben tenerse en cuenta las características del módulo elegido (el mismo modelo de TrinaSolar), que se recuerdan:

Tensión a circuito abierto (V_{oc})	52,1 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	12,42 A
Tensión a potencia máxima (V_{mpp})	43,2 V
Coefficiente tensión-temperatura (CTT)	-0,13 V/ $^{\circ}\text{C}$
Coefficiente intensidad-temperatura (CIT)	0,005 A/ $^{\circ}\text{C}$

Al inversor de 50 kW se conectarán 6 cadenas, y al de 20 kW se conectarán 2 cadenas.

Comprobaciones de cumplimiento para el inversor de 50 kW:

- Comprobación de tensión mínima en el MPP:

$$\text{En el módulo: } V_{mpp} (70^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} + CTT \cdot (T - 25) = 43,2 - 0,13 \cdot (70 - 25) = 37,35 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{mpp}} (70^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} (70^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 37,35 \text{ V/mod} \cdot 16 \text{ mod} = 597,6 \text{ V} > 480 \text{ V}$$

- Comprobación de tensión máxima en el MPP:

$$\text{En el módulo: } V_{mpp} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} + CTT \cdot (T - 25) = 43,2 - 0,13 \cdot (-10 - 25) = 47,75 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{mpp}} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} (-10^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 47,75 \text{ V/mod} \cdot 16 \text{ mod} = 764 \text{ V} < 800 \text{ V}$$

- Comprobación de tensión máxima en vacío:

$$\text{En el módulo: } V_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{oc} + CTT \cdot (T - 25) = 52,1 - 0,13 \cdot (-10 - 25) = 56,65 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{oc}} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 56,65 \text{ V/mód} \cdot 16 \text{ mód} = 906,4 \text{ V} < 1.000 \text{ V}$$

- Comprobación de intensidad máxima:

$$\text{En el módulo: } I_{sc} (70^{\circ}\text{C}) = I_{sc} + CIT \cdot (T - 25) = 12,42 + 0,005 \cdot (70 - 25) = 12,65 \text{ A}$$

$$\text{En el generador: } I_{G_{sc}} (70^{\circ}\text{C}) = I_{sc} (70^{\circ}\text{C}) \cdot N_p = 12,65 \text{ A/cadena} \cdot 6 \text{ cadenas} = 76 \text{ A} < 80 \text{ A}$$

Comprobaciones de cumplimiento para el inversor de 20 kW:

- Comprobación de tensión mínima en el MPP:

$$\text{En el módulo: } V_{mpp} (70^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} + CTT \cdot (T - 25) = 43,2 - 0,13 \cdot (70 - 25) = 37,35 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{mpp}} (70^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} (70^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 37,35 \text{ V/mod} \cdot 16 \text{ mod} = 597,6 \text{ V} > 480 \text{ V}$$

- Comprobación de tensión máxima en el MPP:

$$\text{En el módulo: } V_{mpp} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} + CTT \cdot (T - 25) = 43,2 - 0,13 \cdot (-10 - 25) = 47,75 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{mpp}} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{mpp} (-10^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 47,75 \text{ V/mod} \cdot 16 \text{ mod} = 764 \text{ V} < 800 \text{ V}$$

- Comprobación de tensión máxima en vacío:

$$\text{En el módulo: } V_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{oc} + CTT \cdot (T - 25) = 52,1 - 0,13 \cdot (-10 - 25) = 56,65 \text{ V}$$

$$\text{En el generador: } V_{G_{oc}} (-10^{\circ}\text{C}) = V_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) \cdot N_s = 56,65 \text{ V/mód} \cdot 16 \text{ mód} = 906,4 \text{ V} < 1.000 \text{ V}$$

- Comprobación de intensidad máxima:

$$\text{En el módulo: } I_{sc} (70^{\circ}\text{C}) = I_{sc} + CIT \cdot (T - 25) = 12,42 + 0,005 \cdot (70 - 25) = 12,65 \text{ A}$$

$$\text{En el generador: } I_{G_{sc}} (70^{\circ}\text{C}) = I_{sc} (70^{\circ}\text{C}) \cdot N_p = 12,65 \text{ A/cadena} \cdot 2 \text{ cadenas} = 25,3 \text{ A} < 32 \text{ A}$$

Comparada la potencia pico sumatoria ($326,4 + 65,3 = 392 \text{ kWp}$) con los 1.876 kWe de la instalación DHC. El nº de módulos que habrá que pedir al fabricante TrinaSolar serán $640 + 128 = 768$ módulos.

Líneas eléctricas

La instalación eléctrica partirá de la producción de energía en corriente continua del generador fotovoltaico situado en las respectivas cubiertas de los dos edificios contemplados, con los módulos calculados cableados al aire sobre bandeja perforada.

Las líneas de conexionado de los inversores con el cuadro de protección y medida se tenderán bajo tubo de plástico rígido.

Aplicando la instrucción técnica ITC-BT-40 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, sobre Instalaciones Generadoras de Baja Tensión, *“los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la red pública o a la instalación interior no será superior al 1,5% para la intensidad nominal.”* Esta caída de tensión se repartirá entre la parte en corriente continua (desde el generador hasta el inversor) y la parte en corriente alterna (desde el inversor hasta el cuadro de protección y medida).

En los tramos de corriente continua (CC) se utilizarán cables del tipo RV-K 0,6/1kV, con conductores unipolares de doble aislamiento a base de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta de PVC resistentes a la intemperie, en particular a la acción de los rayos UV y a temperaturas extremas.

Y en los tramos de corriente alterna (CA) se emplearán cables del tipo RZ1-K(AS) 0,6/1kV, con conductores unipolares aislados con polietileno reticulado (XLPE) y cubierta de poliolefina. Es fundamental que todos los conductores de esta instalación (y de cualquier otra) llevar grabadas etiquetas indelebles para su fácil identificación.

Es necesario realizar dos comprobaciones que deben cumplir los cables eléctricos: por caída de tensión y por calentamiento.

La comprobación para el cálculo de las secciones de los conductores por **caída de tensión** se han aplicado las siguientes fórmulas:

Monofásica

$$S = \frac{200 \cdot L \cdot I \cdot \cos\phi}{\Delta V\% \cdot V \cdot \gamma}$$

Trifásica

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot L \cdot I \cdot \cos\phi}{\Delta V\% \cdot V \cdot \gamma}$$

siendo

L - longitud de la línea, en m

P - potencia activa, en W

V - tensión de línea (230 V en monofásica y 400 V en trifásica)

$\Delta V\%$ - caída de tensión en tanto por ciento de V

γ - conductividad del conductor (44 m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$ a 90°C)

I - intensidad de corriente, en A

$\cos \phi$ - factor de potencia de la carga al final de la línea (en c.c. $\cos \phi = 1$)

Para el cálculo de las secciones de los conductores **por calentamiento** se ha utilizado el dato de intensidad de corriente en cada tramo multiplicado por el coeficiente de seguridad 1,25 (mencionado en la ITC-BT-40) para tener en cuenta aquellos días con sol y nubes en los que la irradiancia pueda sobrepasar los 1.000 W/m², aplicando las siguientes fórmulas:

Monofásica

$$I_{\text{máx}} = \frac{P}{V \cdot \cos\phi}$$

Trifásica

$$I_{\text{máx}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi}$$

Cálculo por caída de tensión: Inversor de 300 kW

Para los tramos en corriente continua (CC), la intensidad de cálculo para cada cadena se obtiene multiplicando la intensidad de cortocircuito de un módulo (I_{sc}) por el factor 1,25, resultando en: $I_{c.c.} = I_{sc} \cdot 1,25 = 12,42 \cdot 1,25 = 15,5 \text{ A}$.

La tensión máxima en cada cadena será la tensión en el punto de máxima potencia (V_{mpp}) por el nº módulos en la cadena (N_s), siendo el resultado:

$$V_{G \text{ mpp}} = V_{mpp} \cdot N_s = 43,2 \text{ V/mód} \cdot 16 \text{ mód} = 691,2 \text{ V}$$

La longitud de la línea correspondiente a la cadena más desfavorable es de 100 m, aproximadamente.

De la misma manera, para el tramo en corriente alterna (CA), la potencia nominal del inversor es de 300 kW, la tensión nominal de 400 V y el $\cos \phi = 1$. La intensidad nominal de salida del inversor será, por tanto, la siguiente:

$$I_{c.a.} = \frac{300.000 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} \cdot 1,25 = 541,3 \text{ A}$$

La longitud de los tramos de línea de conexionado de los inversores con el cuadro de protección y medida se estima en 50 m, aproximadamente.

La máxima caída de tensión del 1,5% se repartirá entre ambos tramos, a razón del 0,75% para cada uno. Así, para los tramos en CC, la sección de línea será la siguiente:

$$S_{c.c.} = \frac{200 \cdot 100 \text{ m} \cdot 15,5 \text{ A}}{0,75 \cdot 691,2 \text{ V} \cdot 44 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}} = 13,6 \text{ mm}^2$$

mientras que para los tramos en CA, la sección tendrá el valor siguiente:

$$S_{c.a.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 50 \text{ m} \cdot 541,3 \text{ A}}{0,75 \cdot 400 \text{ V} \cdot 44 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}} = 355,1 \text{ mm}^2$$

Cálculo por calentamiento: Inversor de 300 kW

Considerando una temperatura ambiente de 50°C, para los cables al aire de los tramos en CC, las intensidades admisibles se verán afectadas por un factor de corrección de 0,89. Asimismo, por agrupación de tres circuitos en capa única sobre bandeja perforada se aplicará un factor de corrección de 0,80. Y por estar expuestos estos cables a posibles radiaciones solares, se aplicará también un factor de corrección de 0,90 (acorde al REBT).

La nueva intensidad de los tramos en CC será entonces de:

$$I_{c.c. \text{ corregida}} = \frac{15,5 \text{ A}}{0,89 \cdot 0,80 \cdot 0,90} = 24,2 \text{ A}$$

Para los cables bajo tubo de los tramos en CA sólo se considera un factor de 0,80 por considerar dos circuitos en agrupación bajo tubo, por lo que la nueva intensidad será

$$I_{c.a. \text{ corregida}} = \frac{541,3 \text{ A}}{0,80} = 677 \text{ A}$$

Así, según la tabla A de la ITC-BT-19, a la intensidad de CC corregida de 24,2 A en método de instalación E, circuito bipolar, con cables con conductor de cobre y aislamiento XLPE2 le corresponde una sección de 1,5 mm².

De igual manera y según la misma tabla, a la intensidad de CA corregida de 677 A en método de instalación B1, circuito tripolar, con cables con conductor de cobre y aislamiento XLPE3 le corresponde una sección de 630 mm². Véase la ilustración 103.

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento												
	3x PVC	2x PVC	3x XLPE	2x XLPE									
A1													
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE								
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE					
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
C					3x PVC	2x PVC	3x XLPE	2x XLPE					
E						3x PVC	2x PVC	3x XLPE	2x XLPE				
F							3x PVC	2x PVC	3x XLPE	2x XLPE			
Sección mm ² COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--	
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--	
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--	
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--	
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--	
16	46	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--	
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140	--
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174	--
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210	--
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269	--
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327	--
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380	--
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438	--
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500	--
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590	--
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	636	678	--
400	--	--	--	431	480	515	552	609	645	674	770	812	--
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931	--
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071	--

Se indican como 3x los circuitos trifásicos y como 2x los monofásicos.
A efecto de las intensidades admisibles los cables con aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1) son equivalentes a los cables con aislamiento de poliolefino de vinilo (V).

Ilustración 103 Intensidades admisibles para cables con los conductores de cobre que figuran. Fuente: REBT.

En conclusión, las secciones de conductores serán las mayores obtenidas tanto por caída de tensión como por calentamiento, resultando ser las siguientes:

- En tramos de CC, la sección será de 16 mm²
- En tramos de CA, la sección será de 630 mm²

En la cubierta del edificio se dispondrán tantos cuadros eléctricos de protección como inversores previstos, donde confluirán los circuitos eléctricos de cada serie de módulos FV asignados a los mismos. Cada una de estas series o circuitos, irá protegida por fusibles de 16 A en la entrada a su correspondiente cuadro. Las líneas de salida de estos cuadros hacia sus respectivos inversores serán comunes a los circuitos asignados y dispondrán de protección magnetotérmica para corriente continua y protección contra sobretensiones mediante varistores (descargador de sobretensiones) a tierra.

Energía producida por el generador FV

La energía global anual obtenida del generador fotovoltaico se ha obtenido del programa PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Se aclara que el ángulo de azimut, se ha tomado de 0º porque la zona Madrid está en el hemisferio norte y los módulos están orientados al Sur. Véase la ilustración 104. [32]

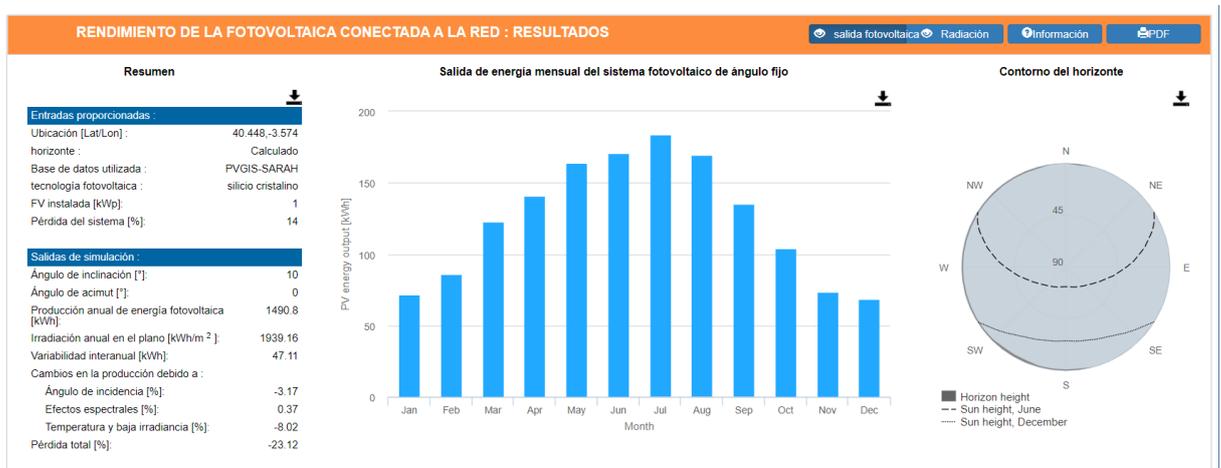


Ilustración 104 Producción anual de energía FV por cada kW instalada. Fuente: PVGIS.

La energía generada anualmente por esta instalación FV será, por tanto, de 1.490,8 kWh/kW-año.

Como se tienen 392 kWp, la energía global producida será de 584.393,6 kWh/año.

Estimando un precio de la energía eléctrica de 0,26 €/kWh, el **ahorro anual producido en esta red District heating & cooling será de 151.942 €/año.**

Tanto los módulos como los materiales utilizados en esta instalación tendrán aislamiento clase II (doble aislamiento).

Los marcos metálicos de los módulos y su estructura soporte se conectarán a tierra mediante conductor de cobre de sección mínima de 16 mm².

La red de tierras será independiente de la del neutro de la empresa distribuidora, de acuerdo con la instrucción técnica ITC-BT-18 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, así como de las masas del resto del suministro.

4.4. DISTRICT HEATING AND COOLING – CÁLCULOS

Demanda real: Potencias

El primer paso ya se calculó en el apartado 4.1. Demanda y certificación preliminar de los edificios, en lo relativo a la potencia necesaria para abastecer a los 11 edificios (9 edificios de viviendas y 2 edificios de oficinas) que precisamente se requerirá de la central frigorífica de este proyecto (que es la sala de máquinas presupuestada), para reemplazar parte de lo que tenía el CPD y que no note diferencia en su suministro permanente necesario.

Un factor de simultaneidad sólo frío (en este caso, en cuanto a consumo de agua fría en la forma de aire acondicionado en los edificios, ya que la demanda de frío ha resultado ser mayor que la de calor en los edificios del barrio Rejas) se calcula como el cociente de la potencia máxima sobre la potencia total, siendo:

$$f.s. = 5.095 \text{ kW} / (5.095 + 3.022) \text{ kW} \approx 0,65$$

Así pues, se tienen 3.311 kW frigoríficos para verano (máquinas de absorción) y 3.022 kW caloríficos para invierno (BCHTs); adecuado para que el salto térmico y el caudal se parezcan a dos tubos tanto en cooling como en heating.

Con estos datos, ya se pueden buscar en catálogos las máquinas más potentes a cargas parciales (por ejemplo, al 75% del uso) con el objetivo de elegir las de mejor calidad y de menor cantidad, lo que hará que el proyecto sea más rentable a largo plazo.

Se empieza por la **enfriadora agua-agua o chiller** en inglés, y habiendo visto Stulz, Trane y Carrier, se ha decidido Carrier como el fabricante principal de este proyecto, por la alineación de su conocimiento publicado con los valores de este proyecto y por su conciencia en el uso de los refrigerantes más respetuosos posibles. El modelo de chiller a utilizar será 19DV-G42G42462AD9, que usa un refrigerante R-1233zd(E), con un impresionante COP = 8 el 75% del funcionamiento y una capacidad frigorífica de 2063 kW.

Se continúa por la bomba de calor de alta temperatura **BCHT** agua-agua de Carrier, modelo 61XWH-14ZE, R-1234ze(E), COP = 2,26, y capacidad calorífica de 1369 kW (pero considerando el salto térmico del fabricante por el condensador, de 15°C, asciende a 1398 kW).

Para el district cooling, se tiene la **enfriadora por absorción** de simple efecto y calentamiento por agua de Carrier, modelo 16LJ 53, capacidad de 1846 kW, con R-134a y alto rendimiento distinto a su análogo EER (porque no sigue el ciclo frigorífico al no tener un compresor, sino que es una máquina alimentada por agua caliente proveniente de la BCHT, y mínimamente por energía eléctrica para una pequeña bomba que consume tanto como una bombilla).

La máquina de absorción tiene una terminología que hay que comprender:

- Sistema de agua enfriada → Se refiere al evaporador 12,2/6,7°C según el fabricante, agua que va a las subestaciones cuando se demanda district cooling.
- Sistema del agua de refrigeración → Se refiere al condensador 38,4/29,4°C según el fabricante, agua que va hacia la torre de refrigeración.
- Sistema de agua caliente → Se refiere al generador 95/86°C según el fabricante, agua que alimenta desde la BCHT al generador de sales absorbedoras de refrigerante.

La **torre de refrigeración** que se ha elegido para este proyecto es de tiro inducido a contracorriente (con el ventilador en la parte superior, ya que cruzada sería al lateral). Así, lo interesante será la tubería de agua que llega a unos 40°C, y la tubería que sale de la balsa de homogeneización a unos 30°C (que es la que corre el riesgo de proliferar Legionella y es lo que frena a las empresas de CPDs a contratar una chiller agua-agua conectada de alguna manera a una torre de refrigeración, y en su lugar utilizan chillers aire-agua o chillers agua-agua conectadas a dry-coolers, pero en cualquier caso existe todo un método de tratamiento periódico reglamentario para solucionarlo). Véase la ilustración 105.

Se instalará una válvula de tres vías en la tubería de entrada, donde irá la vía común y las otras dos vías alternativas se abrirán o cerrarán por acción de un controlador para conectar al acumulador de inercia ubicado entre chillers y BCHTs o para conectar la máquina de absorción, dependiendo de la demanda de los edificios y para dar seguridad al CPD en caso de que no haya demanda por estar en meses de entretiempo u otras razones. En la tubería de salida no habrá válvula alguna, sólo una bifurcación de la tubería, y no hará falta válvula por analogía con la corriente eléctrica o intensidad que fluirá más fácilmente por una rama que no tenga resistencias que por una en paralelo que sí tenga; entonces cuando se cierra una de las vías que entrarían a la válvula de la tubería de entrada, el agua fría que sale de la torre verá que se acumula por donde se corta (hay un circuito abierto, en la analogía eléctrica) y volverá para circular por la tubería que le permita alimentar a algún dispositivo.

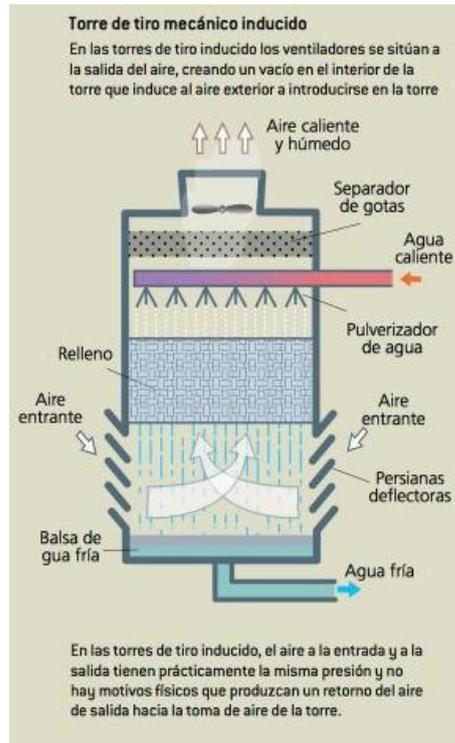


Ilustración 105 Torre de tiro mecánico (con ventilador) inducido (contracorriente el aire). Fuente: Quora.

Si la temperatura de bulbo seco en Barajas (según la Guía de Condiciones climáticas exteriores del IDEA [33]) es 36°C y de bulbo húmedo 19°C, considerando un acercamiento de 5°C habitual en el aire de torres de refrigeración (lo que le queda al aire para llegar a la curva de vapor saturado en el diagrama psicrométrico), se observará el desplazamiento por las rectas isoentálpicas [kJ/kg] de entalpía específica que sigue el aire conforme se va enfriando el agua por el contacto en el relleno, mirando el eje de la temperatura de bulbo seco comenzando en 36°C hacia 19°C, en dirección hacia la curva de saturación a la que debería llegar el aire (pero nunca llegará porque para ello el relleno interno de la torre debería tender a infinito para que hubiera la suficiente superficie de intercambio de calor con el agua de los pulverizadores y de la balsa). Estas condiciones termo-higrométricas se plantean con mayor claridad en la ilustración 106.

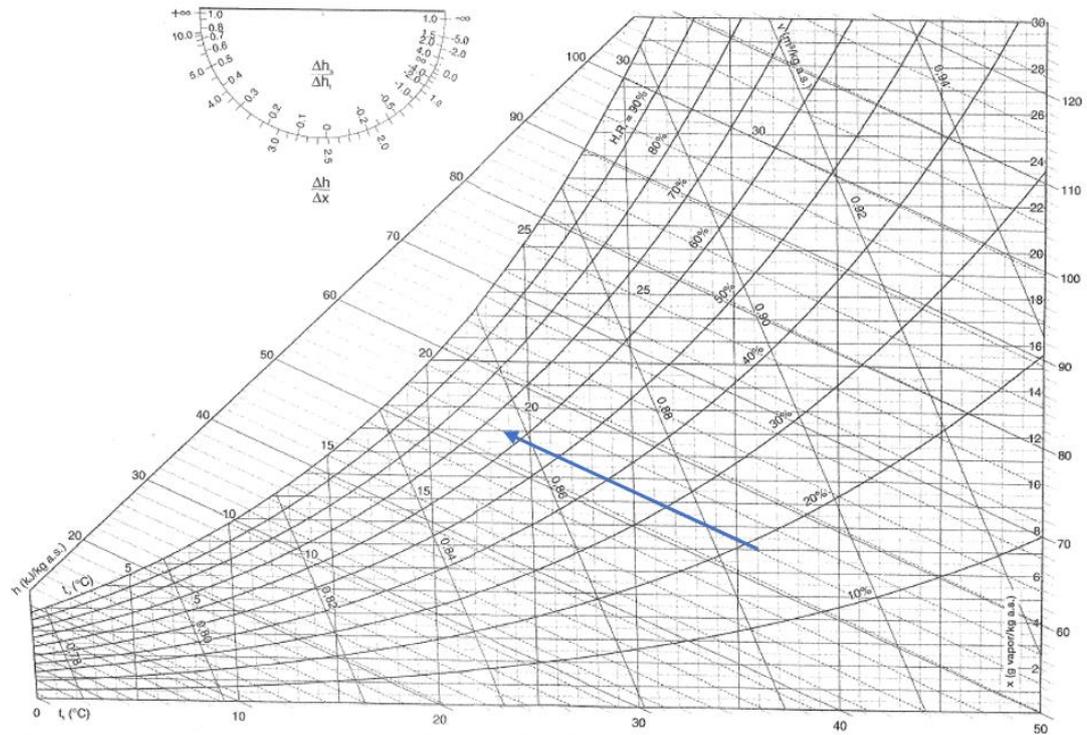


Ilustración 106 Diagrama psicrométrico de torre de refrigeración. Fuente: UEM, asignatura Instalaciones industriales.

Para dimensionar la torre de refrigeración, se calcularán las potencias que produce y que necesitará disipar (para compararlas) de la máquina de absorción, cuyos datos se han obtenido de la ilustración 107.

16LJ		53
Capacidad de refrigeración	kW	1846
Sistema de agua enfriada*		
Caudal	l/s	79,5
Caída de presión	kPa	42
Conexión (ANSI)	pulg.	8
Volumen de retención	m ³	0,77
Sistema del agua de refrigeración*		
Caudal	l/s	119,2
Caída de presión	kPa	117
Conexión (ANSI)	pulg.	12
Volumen de retención	m ³	2,32
Sistema de agua caliente*		
Caudal	l/s	73
Caída de presión	kPa	49
Conexión (ANSI)	pulg.	8
Volumen de retención	m ³	0,51

* De acuerdo con ARI 560 - 2000
 12,2—> 6,7°C (factor de ensuciamiento = 0,0176 m² K/kW)
 29,4—>38,4°C (factor de ensuciamiento = 0,044 m² K/kW)
 95,0—>86,0°C (factor de ensuciamiento = 0,0176 m² K/kW)

Ilustración 107 Capacidades de la máquina de absorción. Fuente: Catálogo de Carrier Sanyo.

La máquina de absorción producirá agua enfriada por el evaporador: $P = 79,5 \text{ L/s} \cdot 4,18 \text{ KJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 5,5 \text{ K} = 1.828 \text{ kW}$.

Y disipará por el condensador el agua de refrigeración: $P = 119,2 \text{ L/s} \cdot 4,18 \cdot 8 \text{ K} \approx 4.000 \text{ kW}$

Necesita disipar más del doble de lo que produce; por tanto la torre de refrigeración se ha seleccionado del fabricante EWK para un salto 40/30°C de agua estándar, de 4.186 kW, correspondiente al modelo EWK 1800/09, torre de casi 4 m de alto x 4,10 m de ancho x 4,10 m de profundidad.

Habrán dos torres de refrigeración para disiparán el calor del condensador de las dos máquinas de absorción. Las torres disiparán el calor de las enfriadoras de absorción, porque sus condensadores necesitan disipar mucha más potencia (4000 kW) que el de la chiller a compresión (2.302 kW).

Tuberías: todo empieza por la pérdida de carga

El segundo paso para calcular la red, es tener clara la fórmula de pérdida de presión con la que se trabajará. Aunque la pérdida de carga por fricción con la tubería tenga una ecuación exponencial, cuyos coeficientes de resistencia y caudal corresponden a tres autores diferentes: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, y Chezy-Manning, según fuentes como el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA) [34], se ha hecho la equivalencia con una expresión del Método de la altura cinética, cuyo único coeficiente adimensional es el asociado a la resistencia accidental o también llamado coeficiente de rozamiento obtenido del Diagrama de Moody (que depende del número de Reynolds, de la inversa de la rugosidad relativa y del flujo turbulento o laminar del agua).

El Método de la altura cinética, también llamado la ecuación de Darcy, dice que la presión en m.c.a. aumenta con el factor de fricción del diagrama de Moody, la longitud de la tubería, la velocidad al cuadrado, y se reduce con el aumento del diámetro y del doble de la aceleración de la gravedad $9,81 \text{ m/s}^2$.

Se parte de la Ecuación general de la energía basada en el Principio de la conservación de la energía, o Ecuación de Bernoulli, de Mecánica de Fluidos (véase la ilustración 108). El efecto Bernoulli consiste en que la presión disminuye cuando aumenta la velocidad del fluido debido a un estrechamiento en la tubería, considerando a la presión como una densidad de energía (porque presión = energía / volumen = potencia / caudal). Cuando el flujo es laminar (régimen estacionario), se entiende que toda la energía cinética (idealmente) contribuye al avance del flujo.

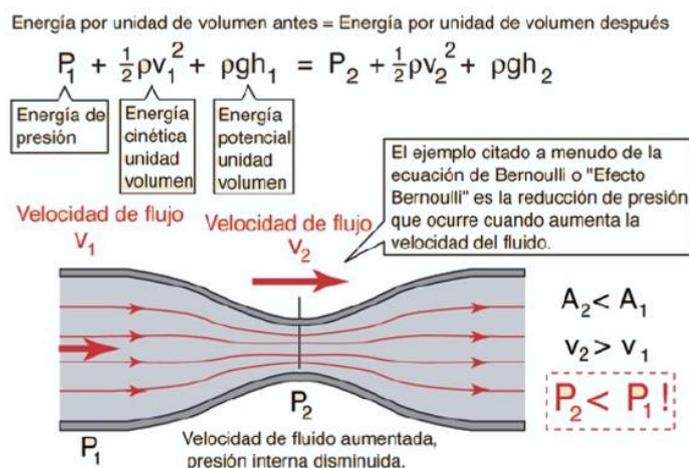


Ilustración 108 Ecuación de Bernoulli. Fuente: Scribd.

Su expresión es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + h_B = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

Las alturas Z_i no se suelen poner porque se consideran nulas, al suponer que la tubería discurre a nivel del mar (que en realidad no es así, pero se hace por simplificar cálculos para obtener otros parámetros). También se consideran las presiones atmosféricas P_i nulas al suponerse despreciables frente a las totales. (Este párrafo se ha aprendido del capítulo 2.2. Conducción simple, del libro Las conducciones forzadas en ingeniería, de Alfonso Cobos de la Fuente, de 2003.)

La ρ es la densidad del agua, h_B es la altura manométrica de bombeo y h_L es la pérdida de carga total. Que igualando las h_i , queda:

$$h_B = h_L = \left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

Finalmente, tomando sólo la velocidad media y añadiendo factores adimensionales, como el cociente longitud del tramo de tubería sobre el diámetro interior y el coeficiente de fricción, se tiene la fórmula tan conocida:

$$h_B = h_L \equiv \Delta p = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ [m. c. a.]} \cdot 10.000 \frac{Pa}{\text{m. c. a.}} \left[Pa = \frac{N}{m^2} \right]$$

Fundamentalmente, en un **flujo laminar**, la pérdida de carga h es linealmente proporcional a la velocidad, mientras el número de Reynolds no supere el valor de 2.300. En un **régimen turbulento**, la pérdida de carga aumenta de forma extraordinaria porque el flujo se desplaza por paquetes de moléculas a ritmos aleatorios. Sin embargo, en muchos casos es deseable el flujo turbulento (por eso es tan eficiente y portátil -en tamaño y peso- el intercambiador de placas comparado con el tubular, como se ha explicado anteriormente).

Para determinar el factor de rozamiento f , hay que comprender que el flujo laminar conlleva una velocidad del fluido menor que la del flujo turbulento, y no sólo eso, sino que la velocidad en el turbulento es variable. Podría decirse que el circuito primario de la red urbana es de **caudal variable** -siempre y cuando los compresores, y con ellos, las bombas también lo sean- y por ello tiene turbulencia (al estar adaptándose a la demanda real necesaria de los consumidores).

Sabiendo que velocidad = caudal / sección, y que el número de Reynolds es adimensional, se obtiene la ecuación más sencilla:

$$Re = \frac{v \left[\frac{m}{s} \right] \cdot D[m]}{V \left[\frac{m^2}{s} \right]} = \frac{2 \frac{m}{s} \cdot 0,226 m}{1,519 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 297.564,2 = 3 \cdot 10^5$$

El valor que ha salido de Re ha demostrado que se está trabajando en régimen turbulento (a caudal variable) y no con un flujo laminar.

Los datos se han encontrado, a 6°C en district cooling (mayor demanda), en la ilustración 109.

TABLA 4. Propiedades físicas del agua a 1 bar

temperatura t °C	densidad ρ kg/m ³	módulo elasticidad $K \cdot 10^{-9}$ N/m ²	viscosidad dinámica $\mu \cdot 10^3$ N·s/m ²	viscosidad cinemática $\nu \cdot 10^6$ m ² /s	tensión superficial σ N/m	presión de vapor p_v kPa
0	999,8	1,98	1,781	1,785	0,0756	0,61
5	1000,0	2,05	1,518	1,519	0,0749	0,87

Ilustración 109 Datos de propiedades físicas del agua en DC. Fuente: Monografias.com.

Ahora se averigua cuánto es la rugosidad ϵ (epsilon) para el acero negro, y es 0,03-0,09 mm, se supondrá un valor intermedio como 0,05 mm. Para saber si la tubería es más rugosa o menos, se calcula una expresión similar a la del número de Reynolds:

$$\frac{\rho \cdot v \cdot \epsilon}{\mu} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 2 \frac{m}{s} \cdot 0,05}{1,518 \frac{Ns}{m^2} \cdot 1 \frac{\left(kg \cdot \frac{m}{s^2} \right)}{N}} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 2 \frac{m}{s} \cdot 0,05}{1,518 \frac{kg}{m \cdot s}} = 65,87 < 70$$

La tubería de acero negro tiene una rugosidad intermedia, según la ilustración 110.

Material	Rugosidad ϵ [mm]
Cobre	0,0015
Latón	0,0015
Acero negro	0,03 – 0,09
Acero estirado	0,0024
Fundición	0,0024
Polietileno reticulado (PEX)	0,007
Polipropileno	0,006
Polibutileno	0,0015
Multicapa	0,007

TIPO DE CONDUCTO	RUGOSIDAD
Hidráulicamente lisos	$\frac{\rho \cdot v \cdot \epsilon}{\mu} < 5$
Región intermedia	$5 < \frac{\rho \cdot v \cdot \epsilon}{\mu} < 70$
Hidráulicamente rugosos	$\frac{\rho \cdot v \cdot \epsilon}{\mu} > 70$

Ilustración 110 Rugosidad. Fuente: Anexo I del Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización, Biblus

La rugosidad relativa se calcula como:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,05 \text{ mm}}{226 \text{ mm}} = 0,0002$$

Con todo esto, se conoce el factor de fricción mediante el diagrama o ábaco de Moody en la ilustración 111, la cual se lee de la siguiente manera:

Se traza una línea vertical por el número de Reynolds, y una línea horizontal de la rugosidad relativa, que va recta hasta la curva discontinua del ábaco (que delimita la zona de turbulencia completa). Entonces, se sigue la curva continua correspondiente hasta cruzarse con la vertical de Reynolds, obteniendo a la izquierda el factor de fricción $f = 0,023$ aproximadamente.

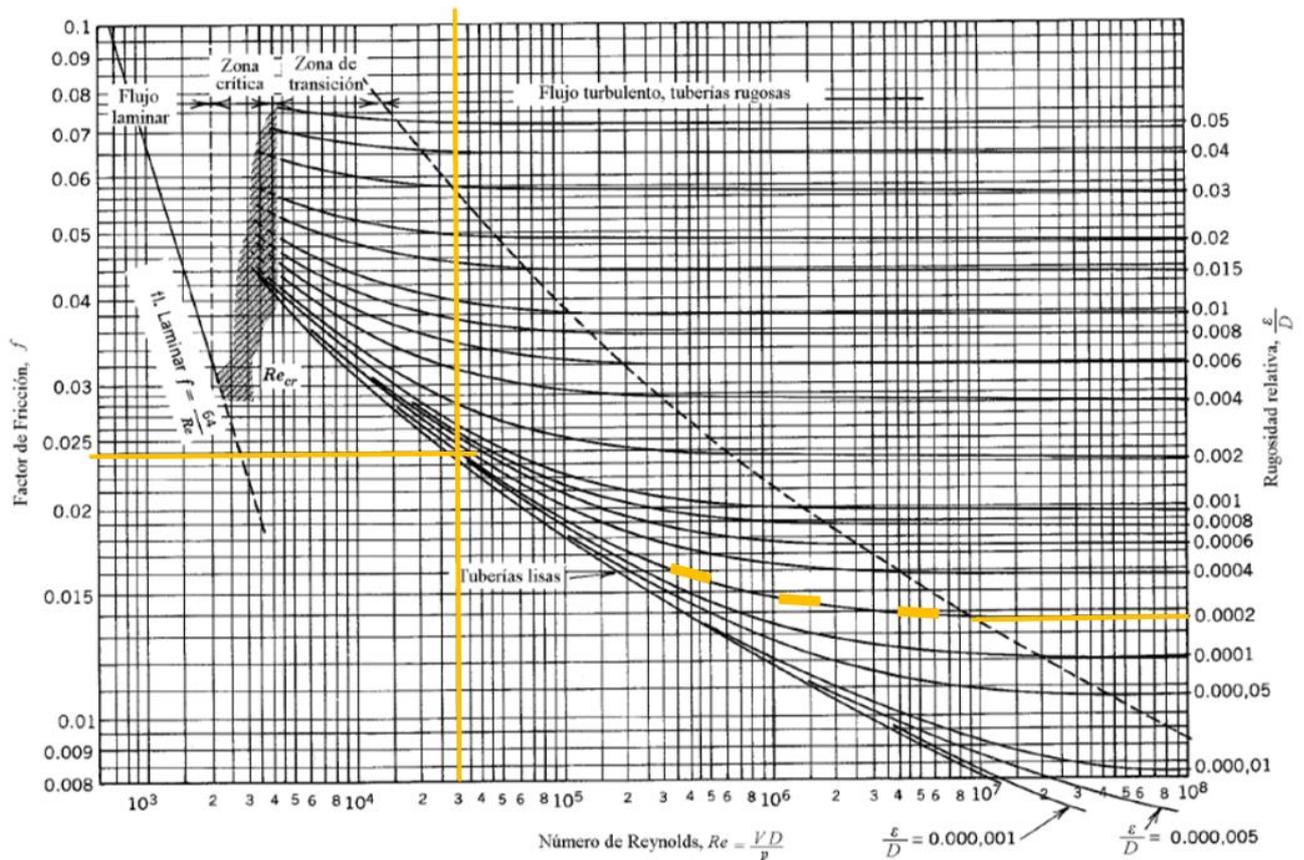


Ilustración 111 Ábaco de Moody. Fuente: Anexo I del Manual diseño de red hidráulica de climatización, Biblus.

Para los diámetros de cada tramo entre edificios, se ha consultado SolarWeb en la ilustración 112.

FACTOR 4 Ingenieros Consultores S.L.

TUBERIA DE ACERO										
Series Normal y Reforzada			UNE 19.040/93				UNE 19.041/93			
DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO		ESPESOR	D. INTERIOR	CONT. AGUA	PESO	ESPESOR	D. INTERIOR	CONT. AGUA	PESO
mm	"	EXTERIOR	mm	mm	l/m	kg/m	mm	mm	l/m	kg/m
DN 6	1/8	10,2	2,0	6,20	0,03	0,40	2,6	5,00	0,02	0,49
DN 8	1/4	13,5	2,3	8,90	0,06	0,64	2,9	7,70	0,05	0,76
DN 10	3/8	17,2	2,3	12,60	0,12	0,85	2,9	11,40	0,10	1,02
DN 15	1/2	21,3	2,6	16,10	0,20	1,20	3,2	14,90	0,17	1,43
DN 20	3/4	26,9	2,6	21,70	0,37	1,56	3,2	20,50	0,33	1,87
DN 25	1	33,7	3,2	27,30	0,59	2,41	4,0	25,70	0,52	2,93
DN 32	1-1/4	42,4	3,2	36,00	1,02	3,09	4,0	34,40	0,93	3,79
DN 40	1-1/2	48,3	3,2	41,90	1,38	3,56	4,0	40,30	1,28	4,37
DN 50	2	60,3	3,6	53,10	2,21	5,03	4,5	51,30	2,07	6,19
DN 65	2-1/2	76,1	3,6	68,90	3,73	6,44	4,5	67,10	3,54	7,95
DN 80	3	88,9	4,0	80,90	5,14	8,38	5,0	78,90	4,89	10,35
DN 100	4	114,3	4,5	105,30	8,71	12,19	5,4	103,50	8,41	14,50
DN 125	5	139,7	5,0	129,70	13,21	16,61	5,4	128,90	13,05	17,89
DN 150	6	165,1	5,0	155,10	18,89	19,74	5,4	154,30	18,70	21,27

Presión de Trabajo: 25 bar para líquidos; 10 bar para gases no combustibles.

Temperatura de Trabajo: -10 a 110 °C

TUBERIA DE ACERO						
UNE 19.050/75						
DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO		ESPESOR	D. INTERIOR	CONT. AGUA	PESO
mm	"	EXTERIOR	mm	mm	l/m	kg/m
DN 175	7	193,7	5,4	182,9	26,3	25,1
DN 200	8	219,1	5,9	207,3	33,8	31,0
DN 225	9	244,5	6,3	231,9	42,2	37,0
DN 250	10	273,0	6,3	260,4	53,3	41,4
DN 300	12	323,9	7,1	309,7	75,3	55,5
DN 325	13	355,6	8,0	339,6	90,6	68,6
DN 350	14	368,0	8,0	352,0	97,3	71,0
DN 375	15	406,4	8,8	388,8	118,7	86,3
DN 400	16	419,0	8,8	401,4	126,5	89,0
DN		457,0	10,0	437,0	150,0	110,2

Ilustración 112 Diámetros nominales de tubería de acero según UNE. Fuente: Ingenieros Consultores S.L. Solarweb.

PROYECTO INDUSTRIAL DE APROVECHAMIENTO DEL CALOR DISIPADO POR MEDIO DE DISTRICT HEATING AND COOLING

Irene Plaza Luis



Los resultados en Excel se muestran en la ilustración 113, para el district cooling (más restrictivo que para district heating, por tanto suficiente para evaluar la red DHC; ventaja de ser una instalación a dos tubos).

CÁLCULO TUBERÍAS FRÍO VERANO COOLING (más desfavorable) - IDA											
Nº edificio	Potencia [kW]	P tramos [kW]	Caudal [m3/h]	L ppal Maps [m]	L equivalente [m]	Diámetro teórico [mm]	Sección [m2]	Velocidad [m/s]	Pérdida de carga Δp [Pa/m]	Pérdida de carga total Δp _T [kPa]	Diámetro nominal [mm]
SALA MQ	3.311,00	3.311,00	407,26	168,00	218,40	310	0,0755	1,50	85,0	18,6	DN300
1	186	3.125,00	384,38	65,00	84,50	310	0,0755	1,41	75,7	6,4	DN300
2	1684	1.441,00	177,24	70,00	91,00	207	0,0337	1,46	121,2	11,0	DN200
3	85	1.356,00	166,79	70,00	91,00	207	0,0337	1,38	107,3	9,8	DN200
4	147	1.209,00	148,71	73,00	94,90	207	0,0337	1,23	85,3	8,1	DN200
5	171	1.038,00	127,68	172,00	223,60	155	0,0189	1,88	267,2	59,7	DN150
6	177	861,00	105,90	325,00	422,50	155	0,0189	1,56	183,8	77,7	DN150
7	30	851,00	102,21	43,00	55,90	155	0,0189	1,50	171,2	9,6	DN150
8	98	733,00	90,16	68,00	88,40	130	0,0133	1,89	321,0	28,4	DN125
9	459	274,00	33,70	26,00	33,80	81	0,0052	1,82	477,7	16,1	DN80
10	145	129,00	15,87	96,00	124,80	65	0,0033	1,33	318,2	39,7	DN50
11	129				0,00						
	3.311,00				1528,80				1 m.c.a. = 10 kPa	28,5	285,1 m.c.a.

CÁLCULO TUBERÍAS FRÍO VERANO COOLING - RETORNO											
Nº edificio	Potencia [kW]	P acumulada [kW]	Caudal [m3/h]	L ppal Maps [m]	L equivalente [m]	Diámetro teórico [mm]	Sección [m2]	Velocidad [m/s]	Pérdida de carga Δp [Pa/m]	Pérdida de carga total Δp _T [kPa]	Diámetro nominal [mm]
1	186	186,00	22,88	65,00	84,50	81	0,0052	1,23	220,1	18,6	DN80
2	1684	1.870,00	230,01	70,00	91,00	207	0,0337	1,90	204,1	18,6	DN200
3	85	1.955,00	240,47	70,00	91,00	207	0,0337	1,98	223,1	20,3	DN200
5	147	2.102,00	258,55	73,00	94,90	207	0,0337	2,13	257,9	24,5	DN200
4	171	2.273,00	279,58	172,00	223,60	260	0,0531	1,46	96,5	21,6	DN250
6	177	2.450,00	301,35	325,00	422,50	260	0,0531	1,58	112,1	47,4	DN250
7	30	2.480,00	305,04	43,00	55,90	260	0,0531	1,60	114,8	6,4	DN250
8	98	2.578,00	317,10	68,00	88,40	260	0,0531	1,66	124,1	11,0	DN250
9	459	3.037,00	373,55	26,00	33,80	260	0,0531	1,95	172,2	5,8	DN250
10	145	3.182,00	391,39	96,00	124,80	260	0,0531	2,05	189,1	23,6	DN250
11	129	3.311,00	407,26	262,00	340,60	310	0,0755	1,50	85,0	28,9	DN300
SALA MQ	3.311,00	3.311,00	407,26		0,00	310	0,0755	1,50	85,0	0,0	DN300
					1651,00				1 m.c.a. = 10 kPa	22,7	226,6 m.c.a.
									Tuberías de la red →	51,2	m.c.a.
									1 INTERCAMBIADOR DE 4 m		55,2 m.c.a.

Ilustración 113 Cálculo de la bomba principal de red district cooling ida+retorno. Elaboración propia en Excel.

En la ilustración 114, se muestran los cálculos de pérdida de carga de las demás bombas circuladoras en tramos de la red (según las potencias de las máquinas de esos tramos).

Bombas 2 → CÁLCULO TUBERÍAS CONDENSADOR BCHT - IDA Y RETORNO										
Potencia [kW]	Caudal [m3/h] (a Δt = 5,8°C)	L ppal Maps [m]	L equivalente [m]	Diámetro teórico [mm]	Sección [m2]	Velocidad [m/s]	Pérdida de carga Δp [Pa/m]	Pérdida de carga total Δp _T [kPa]	Diámetro nominal [mm]	
1363	203	40,00	52,00	105	0,0087	6,52	4747,3	246,3	DN100	
							Tuberías de la red →	24,69 m.c.a.		26,2 m.c.a.
							1 INTERCAMBIADOR DE 1,5 m.c.a.			
Bombas 3 → CÁLCULO TUBERÍAS EVAPORADOR BCHT - IDA Y RETORNO										
Potencia [kW]	Caudal [m3/h] (a Δt = 7,2°C)	L ppal Maps [m]	L equivalente [m]	Diámetro teórico [mm]	Sección [m2]	Velocidad [m/s]	Pérdida de carga Δp [Pa/m]	Pérdida de carga total Δp _T [kPa]	Diámetro nominal [mm]	
733	95	30,00	39,00	130	0,0133	1,95	355,4	13,3	DN125	
							Tuberías de la red →	1,39 m.c.a.		4,0 m.c.a.
							1 INTERCAMBIADOR DE 2,59 m.c.a.			
Bombas 4 → CÁLCULO TUBERÍAS CONDENSADOR Chiller - IDA Y RETORNO										
Potencia [kW]	Caudal [m3/h] (a Δt = 7°C)	L ppal Maps [m]	L equivalente [m]	Diámetro teórico [mm]	Sección [m2]	Velocidad [m/s]	Pérdida de carga Δp [Pa/m]	Pérdida de carga total Δp _T [kPa]	Diámetro nominal [mm]	
2302	265	30,00	39,00	260	0,0531	1,49	100,5	3,9	DN250	
							Tuberías de la red →	0,39 m.c.a.		7,6 m.c.a.
							1 INTERCAMBIADOR DE 7,17 m.c.a.			
Bombas 5 → CÁLCULO TUBERÍAS EVAPORADOR Mág. Absorción - IDA Y RETORNO										
Potencia [kW]	Caudal [m3/h] (a Δt = 7,7°C)	L ppal Maps [m]	L equivalente [m]	Diámetro teórico [mm]	Sección [m2]	Velocidad [m/s]	Pérdida de carga Δp [Pa/m]	Pérdida de carga total Δp _T [kPa]	Diámetro nominal [mm]	
1828	204	50,00	65,00	207	0,0337	1,69	161,2	10,5	DN200	
							Tuberías de la red →	1,05 m.c.a.		5,2 m.c.a.
							1 INTERCAMBIADOR DE 4,2 m.c.a.			
Bombas 7 → CÁLCULO TUBERÍAS CONDENSADOR Mág. Absorción a torres - IDA Y RETORNO										
Potencia [kW]	Caudal [m3/h] (a Δt = 7°C)	L ppal Maps [m]	L equivalente [m]	Diámetro teórico [mm]	Sección [m2]	Velocidad [m/s]	Pérdida de carga Δp [Pa/m]	Pérdida de carga total Δp _T [kPa]	Diámetro nominal [mm]	
4484	551	30,00	39,00	207	0,0337	4,95	1172,8	45,7	DN200	
							Tuberías de la red →	4,57 m.c.a.		16,3 m.c.a.
							1 INTERCAMBIADOR DE 11,7 m.c.a.			

Ilustración 114 Cálculo de la pérdida de carga en las demás bombas circuladoras. Elaboración propia en Excel.

Naturalmente, las tuberías se encargarán preaisladas (bien por coquillas o por fibras), porque tendrán menos pérdidas o accesos de calor (mantendrán el calor en el agua en el caudal y condiciones previstas hasta cada una de las subestaciones) y en district cooling evitarán condensación del vapor atmosférico sobre el agua fría.

Las válvulas se dimensionan en base a su diámetro, tal que su diámetro interior coincida con el diámetro exterior de la tubería.

La red quedaría como en la ilustración 115, diseñada a partir de los cálculos en Excel.



Ilustración 115 Red de tuberías de calor y frío con retorno invertido (DH&C). Elaboración propia.

Acumulador de inercia

Entre la chiller y las BCHT, y sus bombas circuladoras intermedias, se instalará un acumulador de inercia para almacenar el agua para garantizar la seguridad del suministro al CPD más que a los edificios. Se dimensiona por volumen y con él, altura y diámetro. Véase la ilustración 116.

CÁLCULO DEL ACUMULADOR DE INERCIA

El volumen teórico del circuito de agua para un funcionamiento adecuado del acondicionamiento de aire puede calcularse de la siguiente forma:

Capacidad frigorífica de la enfriadora	Q	=		=	Kw
Número de fase de potencia enfriadora	n	=			
Diferencia temperatura agua	ΔT	=	$T_2 - T_1$	=	°C
Volumen nominal (*)	V	=	$72 \times \frac{Q}{(n \times \Delta T)}$	=	Litros

(*) Volumen mínimo del circuito de agua fría. Como factor de seguridad se puede considerar para el acumulador de inercia un volumen igual al obtenido como volumen mínimo del circuito de agua fría.

Ejemplo: Enfriadora 100Kw; Temperatura agua: 12°C / 7°C; 4 fases de potencia;

$$V = 72 \times \frac{Q}{n \times \Delta T} = 72 \times \frac{100}{4 \times (12 - 7)} = 360 \text{ Litros}$$



Ilustración 116 Cálculo del acumulador de inercia. Fuente: Industrias Ibaiondo S.A.

$$V = 72 \cdot (793 \text{ kW} \times 2 \text{ BCHT}) / (4 \text{ fases compresión cargas parciales} \cdot (27,99 - 23,67)^{\circ\text{C}}_{\text{evapChiller}})$$

$$= 6.608,33 \text{ L}$$

Conviene por seguridad de funcionamiento del CPD, llevarlo a 10.000 L = 10 m³.

Depósito de expansión

Citando del RITE de 2007, la instrucción técnica **IT 1.3.4.2.4 Expansión** indica que:

*“1. Los circuitos cerrados de agua o soluciones acuosas estarán equipados con un **dispositivo de expansión de tipo cerrado, que permita absorber, sin dar lugar a esfuerzos mecánicos, el volumen de dilatación del fluido.***

*2. Es válido el **diseño y dimensionado** de los sistemas de expansión siguiendo los criterios indicados en el **capítulo 9 de la norma UNE 100155.**”*

La norma a la que se refiere, *UNE 100.155:2004 - Climatización: Diseño y cálculo de sistemas de expansión*, sustituyó a la de 1988.

La Ley de Boyle-Mariotte del siglo XVII explica la relación entre el volumen y la presión, pues son inversamente proporcionales a temperatura constante. Un depósito de expansión cerrado tiene una membrana interior que separa el aire (por arriba) del agua (que le llega por debajo), y que conforme va entrando el agua a presión, va llenando el volumen del depósito y expandiendo la membrana. Lo que hay que hacer es dimensionar el depósito para este funcionamiento de absorción de dilataciones del agua por presión absoluta.

$$p \cdot V = \text{constante}$$

El coeficiente de presiones absolutas C_p es el cociente de la presión máxima entre la diferencia entre presión máxima y mínima.

Por otro lado, el coeficiente de expansión o de dilatación del fluido C_e es la relación entre el volumen total de agua de la instalación y el volumen útil. No se confundirá con el calor específico C_e (para el agua 4,18 kJ/kg·K) de la fórmula de la energía térmica en el contador de energía, porque el coeficiente es adimensional.

Así, la expresión del volumen total que deberá tener el depósito 1 ubicado entre chiller y BCHT tendrá en cuenta como volumen total de agua no sólo el que tienen las tuberías sino también el del acumulador de inercia. El volumen total del depósito 1 resulta:

$$V_{t,1} = V \cdot C_e \cdot C_p$$

De acuerdo con Bruno, del Blog Ingenierosindustriales.com [35], el coeficiente de expansión se calcula con la expresión siguiente (válida para temperaturas máximas del circuito hidráulico 30-120°C, ya que de lo contrario habrá de consultarse la norma española UNE 100155:2004):

$$C_{e,1} = (3,24 \cdot t^2 + 102,13 \cdot t - 2708,3) \cdot 10^{-6} = (3,24 \cdot 31^2 + 102,13 \cdot 31 - 2708,3) \cdot 10^{-6} = 0,00357$$

Y el coeficiente de presión resulta:

$$C_p = P_M / (P_M - P_m)$$

La presión relativa máxima de servicio de la instalación DHC será menor o igual que la presión de tarado (o de consigna) de la válvula de seguridad -ilustración 117- (de la que pueden consultarse las guías de buenas prácticas NTP 510 Selección y NTP 342 Características técnicas), y varía en este proyecto según Carrier entre 2 y 7 bar (por tanto, se fijará en 5 bar). Para una longitud total de la instalación ida + retorno invertido de la red DC (que ya se calculó en Excel) de 1.768 m = 1,8 km, la altura geométrica de servicio puede ser de 30 m.c.a. (teniendo en cuenta que la zona de Rejas está a 609 m.s.n.m. según PVGIS), que equivale a 3 bar de presión, y se añade 1 bar relativo más para evitar que entre aire a la instalación cuyo oxígeno provoque corrosión en el acero de la tubería. Se considera la presión de las tuberías de 1 bar estándar.

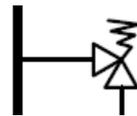


Ilustración 117 Válvula de seguridad. Elaboración propia en AutoCAD.

La presión manométrica (relativa) mínima de llenado de AFS de la acometida hasta un punto cercano a la instalación del depósito de expansión es:

$$P_m = \text{llenado } P_0 + 1 \text{ bar} = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ bar. Para que sea absoluta, será } 2,5 \text{ bar.}$$

$$C_p = 4 \text{ bar} / (4 \text{ bar} - 2,5 \text{ bar}) = 2,66$$

$$V_{t,1} = (V_{\text{entre chiller y BCHT}} + V_{\text{acumulador}}) \cdot C_e \cdot C_p = (2,5+8) \text{ m}^3 \cdot 0,00357 \cdot 2,66 = 0,10 \text{ m}^3 = 100\text{L}$$

$$V_{\text{tubería máquinas}} = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot L_{\text{tramo}} = \pi \cdot (0,400 \text{ m}/2)^2 \cdot 20 \text{ m} = 2,5 \text{ m}^3$$

Se ha terminado seleccionando un modelo de 140 L de Sedical, sin transferencia de masa (luego, sin bomba a motor). No tendrá consumo eléctrico alguno.

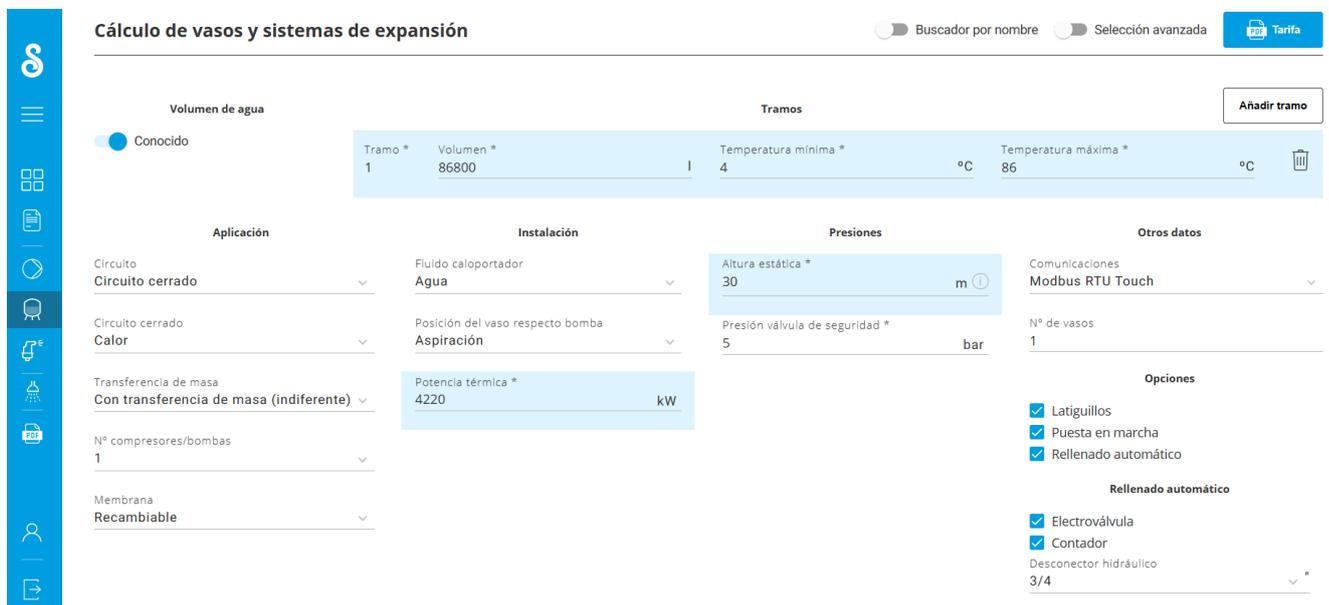
Y para el segundo depósito de expansión, correspondiente a la red general DHC, se obtendrá un dimensionado de:

$$C_{e,2} = (3,24 \cdot t_{med}^2 + 102,13 \cdot t_{med} - 2708,3) \cdot 10^{-6} = (3,24 \cdot 81^2 + 102,13 \cdot 81 - 2708,3) \cdot 10^{-6} = 0,0268$$

$$V_{t,2} = V_{red\ DHC} \cdot C_{e,2} \cdot C_p = 86,8\ m^3 \cdot 0,0268 \cdot 2,66 = 6,188\ m^3 \approx 6.000\ L$$

$$V_{red\ DHC} = \pi \cdot (D_{medio\ ponderado} / 2)^2 \cdot L_{tramo} = \pi \cdot (0,250\ m/2)^2 \cdot 1768\ m = 86,8\ m^3$$

Se podrían instalar 6 depósitos de expansión de red DHC en paralelo, cada uno de 1000 L porque es el máximo en el que se comercializan... a menos que se dimensione el depósito de expansión con una bomba a motor para aliviar el volumen de agua retirando e introduciendo de la acometida y mediante el propio software del fabricante Sedical (con sus criterios y fórmulas) con el que seleccionar el depósito de la red DHC, como se observa en la ilustración 118.



Cálculo de vasos y sistemas de expansión

Buscador por nombre | Selección avanzada | Tarifa

Volumen de agua | **Tramos** | Añadir tramo

Conocido

Tramo *	Volumen *	Temperatura mínima *	Temperatura máxima *
1	86800	4 °C	86 °C

Aplicación | **Instalación** | **Presiones** | **Otros datos**

Circuito: Circuito cerrado

Fluido caloportador: Agua

Altura estática *: 30 m

Comunicaciones: Modbus RTU Touch

Circuito cerrado: Calor

Posición del vaso respecto bomba: Aspiración

Presión válvula de seguridad *: 5 bar

Nº de vasos: 1

Transferencia de masa: Con transferencia de masa (indiferente)

Potencia térmica *: 4220 kW

Nº compresores/bombas: 1

Membrana: Recambiable

Opciones

- Latiguillos
- Puesta en marcha
- Rellenado automático

Rellenado automático

- Electroválvula
- Contador
- Desconector hidráulico: 3/4

Ilustración 118 Datos introducidos a Sedical sobre la red DHC con relleno automático y bomba. Fuente: Software Sedical.

Y ha resultado el modelo VG 4000/10, de 4000 L, con bomba y transferencia de masa bien por agua o por aire (indiferente), con membrana recambiable, servicio de relleno automático incluido, y una producción útil de la bomba con parámetros de caudal 2,53 m³/h y de presión 35,09 m.c.a. El consumo eléctrico del motor de la bomba será, tomando un rendimiento típico del 50%: (2,53/3600 m³/s · 35,09 · 10.000 Pa) / 0,50 = 493 W ≈ 500 W = 0,5 kW. (Puede consultarse la DTIE 4.02 Circuitos hidráulicos y selección de bombas de Atecyr.)

4.5. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

El cronograma de ejecución consiste en planificar las fases que requerirá el proyecto hasta determinarse como completado para la obra e instalación de la red de calefacción y refrigeración urbana, conectada en una proporción a fotovoltaica y automatizada por un sistema de control y digital.

Habiendo estudiado el PMBoK (Project Management Body of Knowledge), metodología estrella para directores de proyectos, se comprende que un proyecto de esta escala integra en conjunto todo lo relativo a la línea base y a los planes de gestión necesarios, es decir, el alcance del proyecto, el tiempo total del que se dispone y los plazos establecidos, el presupuesto, la calidad en base a expectativas pero sobre todo a los requisitos de los equipos, las comunicaciones, los riesgos previstos e inesperados probables, las adquisiciones de los recursos, y los interesados o stakeholders. Todo en las fases prácticas de inicio, planificación, ejecución y medición+control, hasta el cierre de cada fase y en última instancia del proyecto en cuestión.

El RITE es de las mejores fuentes de consulta para poder concretar aspectos de la instalación; se cita del RD 1027/2007, Capítulo II:

“Artículo 10. Exigencias técnicas de las instalaciones térmicas.

Las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse, de forma que se cumplan las exigencias técnicas de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad que establece este reglamento.”

Este cronograma se representará como un diagrama de Gantt de hitos principales por fase y de las tareas o actividades que se llevarán a cabo antes, durante y después de la obra, de las consideraciones a tener en cuenta (como trámites) y las actas que la ingeniería tendrá la responsabilidad de elaborar con las comunidades de propietarios del barrio vecino al CPD sobre cualquier modificación, sobre todo de lo presupuestado.

El proceso se detalla -basado en los capítulos del RITE de 2007 y en el PMBoK de Dirección de Proyectos- como en la ilustración 119.

PROYECTO INDUSTRIAL DE APROVECHAMIENTO DEL CALOR DISIPADO POR MEDIO DE DISTRICT HEATING AND COOLING

Irene Plaza Luis



CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN EN EL MES DE ENERO 2023 (Vida útil de 25 años)
DE LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN URBANA (DISTRICT HEATING & COOLING)
CON PROPORCIÓN RENOVABLE FOTOVOLTAICA
EN EL BARRIO REJAS (SAN BLAS-CANILLEJAS, MADRID)

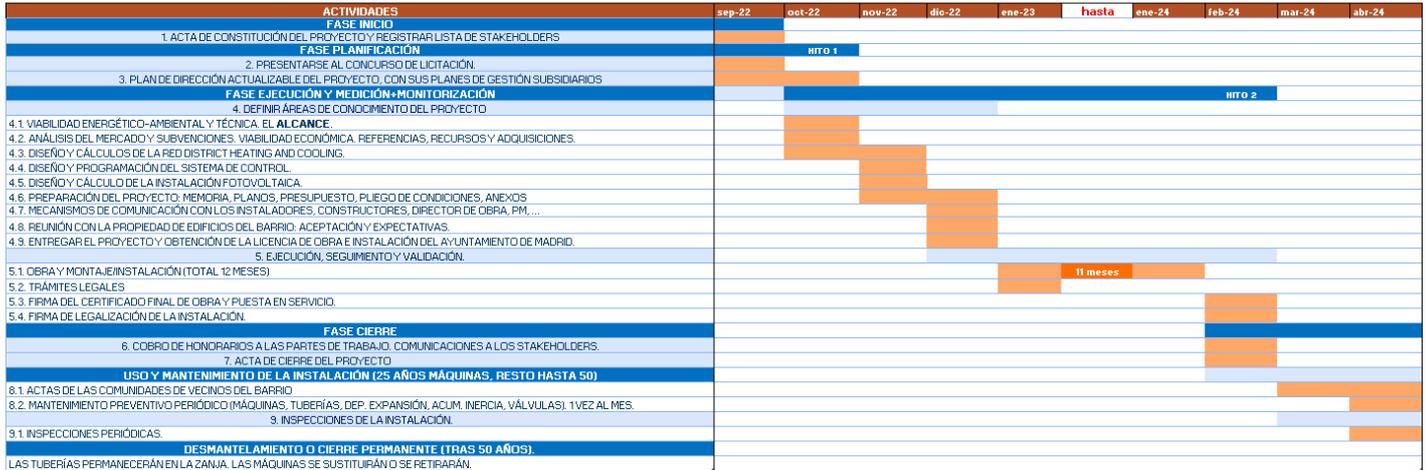


Ilustración 119 Cronograma de ejecución, Septiembre 2022-Febrero 2024. Elaboración propia en Excel.

Y en la ilustración 120 se muestra el Diagrama de Gantt automático.

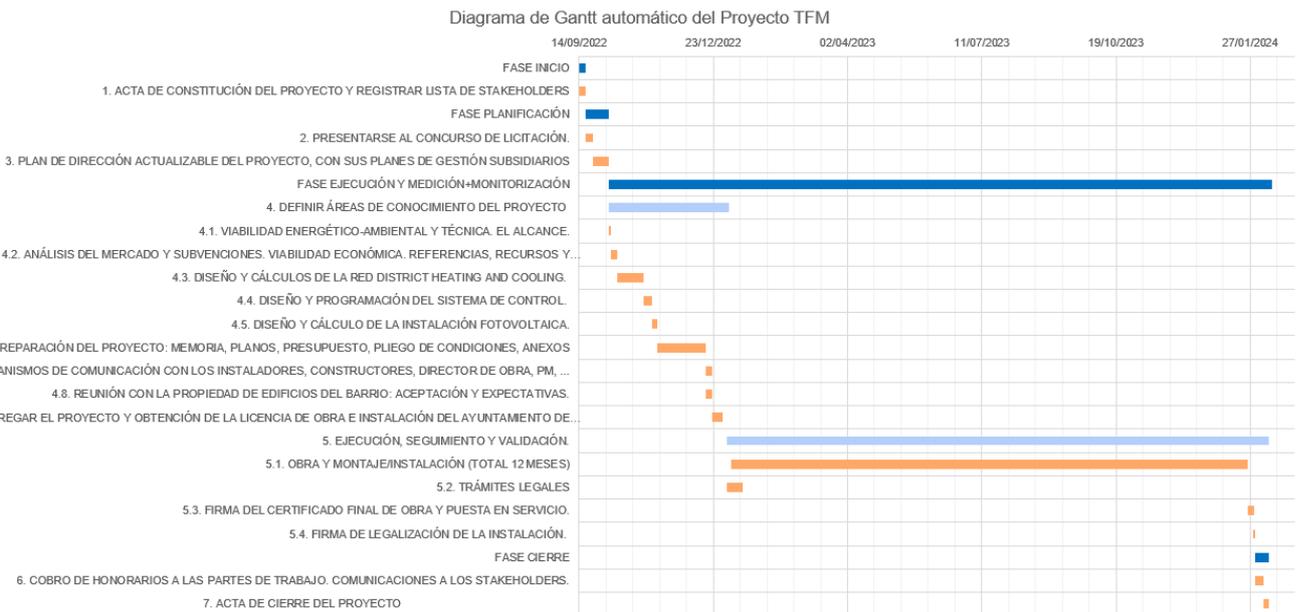


Ilustración 120 Diagrama de Gantt automático del proyecto. Elaboración propia en Excel.

Entrando en materia, en el PDP (Plan para la Dirección del Proyecto), el proyectista redactará una estimación en el detalle de los planes de gestión incluyendo los planes de seguridad y salud aprobados por su coordinador, los anteproyectos, proyectos y memorias técnicas del Estudio de Ingeniería contratado.

Se incluirán los contactos de las empresas eléctricas y las constructoras (que usualmente pondrán también el servicio de mantenimiento de las instalaciones), y los detalles técnicos por los que los instaladores y constructores deberán guiarse durante la obra y montaje.

El sistema de control integrado de cambios se irá incluyendo en el registro de lecciones aprendidas del PDP y de las actas que se hayan elaborado, generando versiones consecutivas que se convertirán en la nueva guía consolidada.

Se realizarán reuniones con el presidente representante de la comunidad de vecinos de los edificios que hayan aceptado la instalación de subestaciones para conectarse a la red DHC y, en dichas reuniones, habrá expertos y brainstorming. Se tratarán sus preocupaciones, quejas, sugerencias y dudas tras una presentación por parte del representante técnico competente de la ingeniería. Se mantendrán los turnos de palabra o por lo menos se llegará a un consenso de ideas entre las partes involucradas, normalmente asociado a su nivel de interés e influencia.

Se contratarán a las empresas no sólo por el precio de su oferta, sino por otros factores esperados en alineación con el proyecto.

Una vez entregada toda la documentación relevante y teniendo listos los equipos, se procederá a la obra, para la cual se requerirán los permisos y autorizaciones legales por el Ayuntamiento y sus Ordenanzas municipales, y otros organismos, y vistos en el apartado 3.5. Servidumbres.

Antes de comenzar la ejecución de la instalación en los edificios, como todos son existentes (anteriores a 2006 la mayoría al menos), habrá primero que desmantelar las instalaciones convencionales que tuvieran y los equipos generadores (p.ej. calderas) que se desean reemplazar para lograr mejorar la eficiencia energética, reflejada en la certificación o calificación energética obtenida mediante programas explicados en el apartado 5.1. Demanda y certificación de los edificios próximos al CPD.

Para realizar la obra, será necesario parar el tráfico en la calle del edificio existente para el acceso de camiones y furgonetas, grúas, etc. y por supuesto mano de obra cualificada contratada (con equipamiento propicio de seguridad y salud en calidad de Prevención de riesgos laborales según el Código Civil y la LOE).

En la fase de cierre, se legalizará el proyecto definitivo y el establecimiento de inspecciones y operaciones de mantenimiento de la instalación montada. Se firmará y legalizará el certificado de fin de obra.

Cualquier solicitud de cambios se expedirán al Comité de cambios, y rechazará o aceptará dichos cambios para actualizar la documentación de la Fase Planificación para redirigir a tiempo real o cuanto antes el rumbo de la Fase Ejecución según lo programado.

En el uso de las instalaciones nuevas, es obligatorio (por el RITE) realizar una **operación de mantenimiento cada mes**, así como inspecciones periódicas de seguridad del estado y las condiciones de la instalación. Así, la empresa mantenedora -subcontratada por la empresa constructora o instaladora de la obra- se encargará de revisar el correcto estado de la instalación y sus elementos (y es importante que sea con personal mantenedor cualificado y honrado). En el mismo período de tiempo de uso y mantenimiento, se realizarán actas de satisfacción, periódicas, en las que los vecinos y un representante técnico se reunirán sobre el correcto funcionamiento de la instalación en las viviendas.

Como siempre, la **inspección** será llevada a cabo por parte de un ingeniero acreditado o bien de entidades EICI (Entidad de Inspección y Control Industrial llevada a cabo por un organismo de control autorizado (OCA)), que inspeccionarán la instalación cada mes o el periodo definido por el RITE a la fecha.

El desmantelamiento de la instalación completa se llevará a cabo a los 50 años de vida útil base de la red (sin contar las máquinas, a menos que se sustituyan una vez que estén viejas o provoquen demasiadas averías). El proceso se llevará en el mismo tiempo que cuando se instaló.

Conviene incluir que si se hubieran instalado baterías de acumulación en el sistema fotovoltaico, habrían requerido sustitución por unas nuevas cada 10-12 años.

En total, se ha estimado que obra y montaje se ejecutará en un año, habiendo considerado que: la obra de construcción de la zanja a 4 m de profundidad por las vías urbanas del barrio Rejas (Madrid) se realizará por la mano de obra contratada al ritmo de 20 m excavados a lo largo al día, que será 400 m avanzados al mes; un tramo de tubería preaislada tendrá 6 m porque es lo más largo que serán los camiones contratados, y se toma como referencia una hora en soldar y colocar un tramo DN400 para el resto de diámetros; la red tiene 1,8 km; se instalarán tres válvulas en una hora; etc.

Capítulo 5. ESTUDIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

En este capítulo, se compara el servicio que se planea proporcionar a los edificios vecinos del CPD con respecto a la alternativa que tendrían convencional en un estudio económico y el horizonte temporal de la vida útil mínima de la red DHC analizado en el flujo de caja. Se termina con los cálculos de emisiones y la certificación real basada en un programa de la red que termina de demostrar la comparación de la situación convencional y la propuesta.

5.1. ESTUDIO ECONÓMICO COMPARATIVO Y FLUJO DE CAJA.

El costo real de capital (libre de inflación) varía de país a país y de empresa a empresa. También tendrá un impacto enorme según la manera en que se organiza el sector eléctrico (monopolio) y el precio de la energía eléctrica.

De la *Guía Básica de Redes de Distrito de Calor y de Frío* de la ADHAC [19], se podrá tener en cuenta lo que a continuación se cita:

Necesidades de financiación

Es habitual que los edificios a los que se les dará servicio se conecten a la red gradualmente, es decir, se prevé que el número de clientes en una misma zona irá aumentando con el paso del tiempo. Así, para poder dar servicio a los primeros clientes, la sociedad explotadora deberá realizar, como mínimo, la inversión en una central de producción y un tramo de red.

Esta situación podría derivar en unas elevadas tensiones financieras de la sociedad explotadora que hagan el proyecto menos interesante o inviable, por lo que la entidad promotora de la red deberá hallar soluciones para que estos proyectos sean más atractivos.

Necesidades de esquemas de gestión profesional tipo ESE

El objetivo de las empresas de servicios energéticos (las ESE) es proveer servicios energéticos, incluyendo soluciones de eficiencia, ahorro de energía y el uso de tecnologías sostenibles [CE 299]. Es por eso por lo que garantizan una gestión energéticamente eficiente de la red.

En el modelo de negocio de las redes de distrito, las ESE pueden asumir el diseño, la construcción y/o la operación y explotación del sistema. Las ESE pueden contribuir, total o parcialmente, a la inversión de la red. El resto de inversión la hará la Administración o bien los usuarios (por ejemplo, en forma de derechos de conexión). Por otro lado, las ESE aportan una gestión profesionalizada de todo el sistema, desde la gestión de la facturación hasta la operación de las centrales de producción y la red, las subestaciones, el mantenimiento, etc.

La red DHC de este proyecto se amortizaría en 10 años, con lo que a partir del año nº 11 se esperan tener los primeros ingresos por venta de energía térmica.

A continuación, se explica detalladamente la comparación económica entre los dos sistemas: la instalación de caldera para calefacción que va quedándose cada año más obsoleta por tener menos rendimiento del que se puede conseguir hoy en día (en parte, por uso de combustible fósil); y, por el otro lado, la instalación de subestación mixta de intercambio conectada a una red urbana de calor y frío (a priori de calor sólo, DH), que precisamente pretende promover entre los usuarios de los edificios el reemplazo de radiadores por fancoils para que puedan también conectarse al DC (district cooling) en verano que ofrece la red DHC (District heating and cooling).

ANÁLISIS ECONÓMICO SÓLO CALEFACCIÓN

En primera instancia, se analiza el gasto que supone servirse de caldera a gas natural cada año. La energía que produce para proveer de calefacción (5 meses al año, 10 horas al día) es la equivalente a la demanda prevista calculada a raíz de los programas de certificación energética de los 9 edificios residenciales y los 2 edificios de oficinas de este proyecto (véanse apartados 4.1. Demanda y certificación preliminar, y 4.4. de cálculos de dimensionado).

Con el rendimiento, se podrá obtener la energía anual total consumida a partir de la demandada. En Madrid, el precio del gas natural es de 0,188 €/kWh, y su coste es la multiplicación del precio del gas por la energía consumida por la caldera del 80% de rendimiento a cargas parciales. El coste de mantenimiento corresponde al salario de una persona de mantenimiento. Véase la ilustración 121.

SITUACIÓN CONVENCIONAL CON CALDERA A GAS	
Fuente de energía	Gas natural
Potencia instalada	3.022 kW
Horas de funcionamiento anuales	1.500 h/año
Energía anual de calefacción (Demandada)	4.533.000 kWh/año
Rendimiento medio estacional	80 %
Energía anual de calefacción (Consumida)	5.666.250 kWh/año
Precio del gas natural	0,188 €/kWh
Coste de gas natural	1.062.422 €/año
Coste de mantenimiento	32.000 €/año
TOTAL GASTO ANUAL	1.094.422 €/año

Ilustración 121 Gasto anual en calefacción de la caldera. Elaboración propia en Excel.

Lo que se propone es considerar los mismos cálculos, pero para el consumo de energía eléctrica de las enfriadoras, BCHT, torres, bombas circuladoras y válvulas con servomotor, etc. de la red DHC, cuyo rendimiento estacional en calefacción (por parte de las BCHT) es de 3,5 (350%). Véase la ilustración 122.

SOLUCIÓN PROPUESTA CON DH	
Fuente de energía	Electricidad
Energía anual de calefacción (Demandada)	4.533.000 kWh/año
SCOP	3,5
Energía anual de máquinas calefacción DH (Consumida)	1.295.143 kWh/año
Precio de la electricidad	0,270 €/kWh
Coste de la electricidad	349.689 €/año
Coste del mantenimiento (subestación)	20.000 €/año
TOTAL GASTO ANUAL	369.689 €/año

Ilustración 122 Gasto anual en calefacción de la subestación de red DHC. Elaboración propia en Excel.

ANÁLISIS ECONÓMICO REFRIGERACIÓN

La energía que el acondicionamiento del aire produce para proveer de refrigeración es la demanda calculada por los programas de certificación energética empleado. A lo largo de toda la temporada de verano (3 meses al año, 10 horas al día), la energía que consumen los acondicionadores de aire es el cociente entre la energía anual de refrigeración y la eficiencia estacional de 2,5 (250%). Véase la ilustración 123.

SITUACIÓN CONVENCIONAL CON ACONDICIONADORES DE AIRE	
Fuente de energía	Electricidad
Potencia instalada	5095 kW
Horas de funcionamiento anuales	900 h/año
Energía anual de refrigeración (Demandada)	4.585.500 kWh/año
SEER	2,5
Energía por acondicionadores de aire (Consumida)	1.834.200 kWh/año
Precio de la electricidad	0,270 €/kWh
Coste de la electricidad	495.234 €/año
Coste del mantenimiento	9.800 €/año
TOTAL GASTO ANUAL	505.034 €/año

Ilustración 123 Gasto anual en refrigeración del AC. Elaboración propia en Excel.

Utilizando la misma subestación de intercambio de calor mixta para calor y frío, se obtiene el gasto anual a partir del coste de la energía eléctrica y retomando la misma energía demandada que en el caso del aire acondicionado. Véase la ilustración 124.

SOLUCIÓN PROPUESTA CON DC (opcional)	
Fuente de energía	Electricidad
Energía anual de refrigeración (Demandada)	4.585.500 kWh/año
SEER	3,5
Energía anual de máquinas refrigeración DC (Consumida)	1.310.143 kWh/año
Precio de la electricidad	0,270 €/kWh
Coste de la electricidad	353.739 €/año
Coste del mantenimiento	10.000 €/año
TOTAL GASTO ANUAL	363.739 €/año

Ilustración 124 Gasto anual en refrigeración de la subestación de red DHC. Elaboración propia en Excel.

La comparación viene cuando se recopilan los valores de cada servicio, calefacción por un lado (por cambio de fuente energética) y refrigeración por el otro (por mejor eficiencia SEER), y se calcula el ahorro como la diferencia entre ambos. Véase la ilustración 125.

COSTE TOTAL ACTUAL DE ENERGÍA EN LOS EDIFICIOS	
Coste energético en calefacción	1.094.422 €/año
Coste energético en refrigeración	505.034 €/año
Coste total de energía ACTUAL en los edificios	1.599.456 €/año
COSTE TOTAL PROPUESTO DE ENERGÍA PARA LOS EDIFICIOS	
Coste energético en calefacción	369.689 €/año
Coste energético en refrigeración	363.739 €/año
Coste total de energía PROPUESTO en los edificios	733.427 €/año

Ilustración 125 Conclusión de ahorro total que supone sistema propuesto frente al actual. Elaboración propia en Excel.

Pero eso no es todo. Se ha calculado una instalación fotovoltaica en el apartado 4.3., con la que se podrá ahorrar todavía más en el sistema propuesto. Resumiendo dicho apartado, la energía fotovoltaica global anual producida por los módulos solares fotovoltaicos (584.394 kWh/año) se ha generado por el programa PVGIS, para unos datos que se han calculado por superficie disponible en las cubiertas de los edificios del CPD y de la central térmica/sala de máquinas presupuestada en este proyecto. Así, el empleo de fotovoltaica al sistema, durante las horas de sol del año, da a la red DHC unos ahorros económico y energético de alrededor del 22%. Véase la ilustración 126.

AHORRO ECONÓMICO QUE SUPONE LA FOTOVOLTAICA	
Energía FV anual producida	584.394 kWh/año
Precio de la electricidad	0,270 €/kWh
Ahorro económico por FV	157.786 €/año
Equivalente a (en energía)	22,4 %
COSTE TOTAL ANUAL DEL DHC	
Coste total de energía PROPUESTO en los edificios	733.427 €/año
Ahorro económico por FV	157.786 €/año
Coste total anual de energía del DHC con FV	575.641 €/año
Equivalente a (en monetario)	21,5 %

Ilustración 126 Ahorro que supone la FV para las máquinas de la red DHC. Elaboración propia en Excel.

Traducido a porcentaje, dicho ahorro económico se calcula como la relación entre los costes de los dos sistemas. Véase la ilustración 127.

AHORRO ECONÓMICO ANUAL	
Coste total de energía ACTUAL en los edificios	1.599.456 €/año
Coste total anual de energía del DHC con FV	575.641 €/año
Ahorro económico anual	1.023.815 €/año
Equivalente a	64 %

Ilustración 127 Ahorro anual del sistema DHC con FV renovable frente al actual. Elaboración propia en Excel.

El ahorro entre contratar un servicio u otro supondrá, como conjunto de los usuarios en sus 11 edificios, uno del 64%. Luego cada año, se recuperará un millón de € (1.023.815 €/año), y ya se estima que si el presupuesto de la instalación completa DHC es de 9 M€, el retorno de la inversión será en 9-10 años. Los datos de la tasa de interés y la inflación se han obtenido de varias fuentes en internet a fecha de enero 2023. Véase la ilustración 128.

INVERSIÓN TOTAL Y VIDA ÚTIL DHC	
Importe Inversión en DHC + FV	9.070.984 €
Ahorro económico anual	1.023.815 €/año
Horizonte temporal	25 años
Tasa de interés nominal anual	3,25 %
Inflación estimada	4,20 %

Ilustración 128 Inversión de presupuesto y datos para el flujo de caja. Elaboración propia en Excel.

En la ilustración 129, se muestra el flujo de caja de este proyecto, tomando el presupuesto y el impuesto del IVA a 21%, el ahorro económico anual de alrededor de 1M€, una rentabilidad exigida del 6% que ha sido **superada en expectativas por un TIR del 12%**.

ANÁLISIS DE INVERSIÓN

FLUJO DE CAJA PARA CAMBIAR DE INSTALACIÓN CONVENCIONAL A UNA RED URBANA DE CALOR Y FRÍO											
Financiación con recursos propios											
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ENTRADAS		1.023.815	1.066.815	1.111.621	1.158.310	1.206.959	1.257.651	1.310.472	1.365.512	1.422.864	1.482.624
Ahorro anual		1.023.815	1.066.815	1.111.621	1.158.310	1.206.959	1.257.651	1.310.472	1.365.512	1.422.864	1.482.624
SALIDAS	10.975.891										
Inversión	9.070.984										
IVA de la Inversión	1.904.907										
FLUJO DE CAJA	-10.975.891	1.023.815	1.066.815	1.111.621	1.158.310	1.206.959	1.257.651	1.310.472	1.365.512	1.422.864	1.482.624
Retorno	-10.975.891	-9.952.076	-8.885.260	-7.773.639	-6.615.329	-5.408.371	-4.150.720	-2.840.248	-1.474.736	-51.872	1.430.752
Tasa actualización estimada	3,25	%									
VAN (€) con K = 6%	8.334.950	€									
TIR	12	% (> K = 6%)									
Payback (años)	10	años									

Ilustración 129 Flujo de caja hasta el año de amortización, con un TIR de 12%. Elaboración propia en Excel.

En el año 0, se ha aprobado toda la documentación y se ha procedido a la puesta en marcha de la instalación. A partir del primer año, se verán los ingresos (ahorros obtenidos) y los gastos (inversión), cuya diferencia define el flujo de caja.

El flujo de caja en el año 0 es negativo naturalmente, con la inversión siendo el presupuesto de la propuesta, pero en el año 1 la instalación ha logrado ahorrar 1.023.815€, con lo que el resultado es casi -10 M€. Por fin, en el año 10, no sólo se ha recuperado la inversión (payback) sino que se han obtenido los primeros ingresos de más de un millón (1.430.752 €) debidos al rendimiento que se le está empezando a sacar a la red DHC.

El final de este apartado se dedicará a la explicación de los conceptos de la TIR y el VAN, los cuales se pueden calcular por las fórmulas automáticas y simplificadas de Excel.

El VAN es el valor actual neto, es decir, el valor que tiene a día de hoy una serie de pagos que se efectuarán en el futuro. Cuantifica, con respecto al valor que tiene el dinero hoy, los flujos que sucederán hoy y próximamente en el futuro. Se calcula porque al actualizar el flujo neto de caja (los años venideros con sus cambios económicos), habrá que valorar la inversión y el efecto que tendrá el tiempo sobre ésta. Al final, se tiene un VAN muy atractivo de 8.334.950€.

La TIR es la tasa interna de retorno, es decir, la tasa de interés producida por la inversión. Algebraicamente, la TIR es la tasa de descuento que proporciona un VAN = 0. Sirve para determinar qué proyectos son rentables comparando el TIR de un proyecto con la tasa de rentabilidad exigida por los accionistas (estimada del 6%) respecto del coste de capital de la

empresa de ingeniería, sería en este caso. De esta manera, es lógico que se prefieran porcentajes elevados de TIR, lo cual se alcanza (12 %) en este proyecto.

Si antes se ha leído el flujo de caja pensando que faltaba algo, es que así era. Efectivamente, falta analizar qué ocurre en los próximos 15 años de vida útil de la red DHC, antes de que algunas máquinas requieran reparaciones más intensas o ya incluso sustituciones hasta 2074.

En la ilustración 130, se observa al año nº 25 (en 2049), la red DHC dará unos ingresos debidos al rendimiento y la eficiencia de las máquinas involucradas... de ¡casi 33 M€! (+32.828.845€).

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1.544.894	1.609.780	1.677.390	1.747.841	1.821.250	1.897.742	1.977.448	2.060.500	2.147.041	2.237.217	2.331.180	2.429.090	2.531.112	2.637.418	2.748.190
1.544.894	1.609.780	1.677.390	1.747.841	1.821.250	1.897.742	1.977.448	2.060.500	2.147.041	2.237.217	2.331.180	2.429.090	2.531.112	2.637.418	2.748.190
1.544.894	1.609.780	1.677.390	1.747.841	1.821.250	1.897.742	1.977.448	2.060.500	2.147.041	2.237.217	2.331.180	2.429.090	2.531.112	2.637.418	2.748.190
2.975.646	4.585.425	6.262.815	8.010.656	9.831.906	11.729.648	13.707.096	15.767.596	17.914.638	20.151.855	22.483.035	24.912.125	27.443.237	30.080.655	32.828.845

Ilustración 130 Retornos de caja obtenidos por el sistema de red DHC propuesto. Elaboración propia en Excel.

5.2. AHORRO EN EMISIONES NOCIVAS

El cómo funciona la sistemática de la calificación energética se explica de manera muy completa en la ilustración 131. Para calificar el consumo de energía primaria (repartida en renovable y no renovable) y las emisiones de la instalación (circuito primario) que abastece al edificio, se hacen unas operaciones con factores de paso como se comentó anteriormente. De esa manera, puede evaluarse el impacto ambiental, la procedencia de la energía del mix energético que contrata el edificio, el uso o explotación de la instalación (circuito secundario de consumo de la energía final) por el usuario, además del coste de inversión del promotor en la instalación que abarque el alcance del proyecto y la rentabilidad que le sacará (prevista por el flujo de caja).

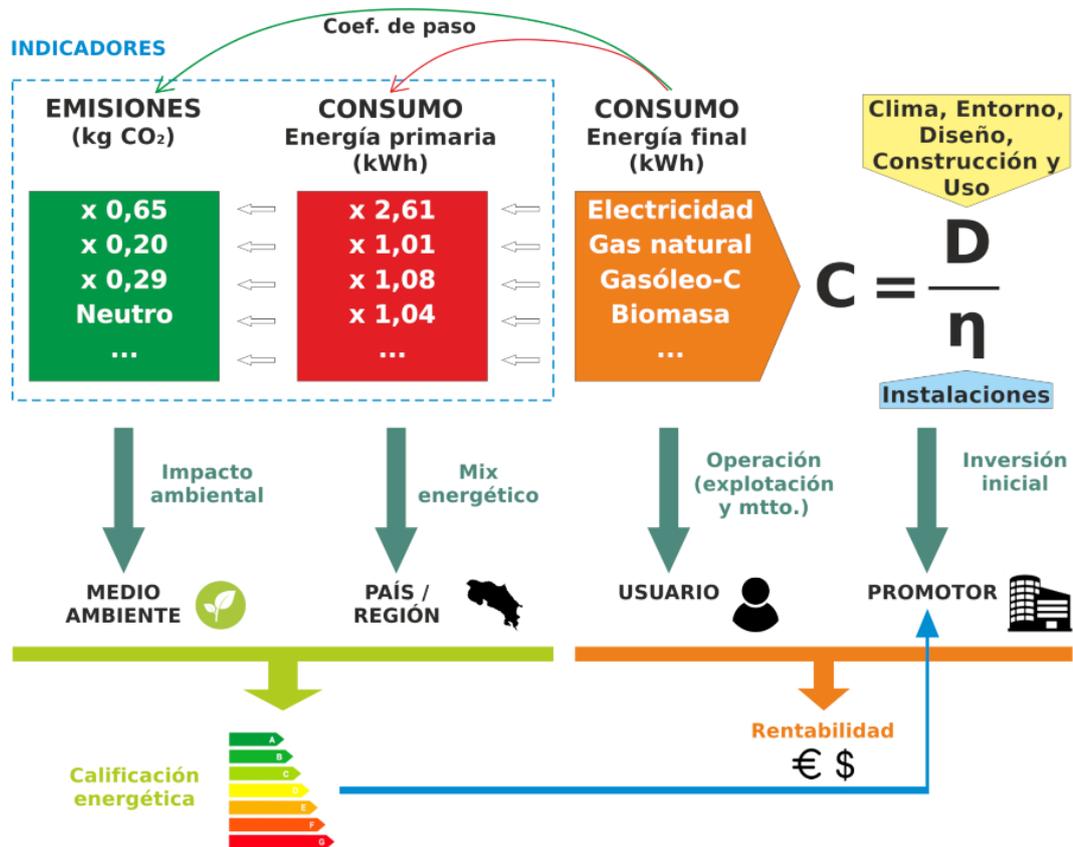


Ilustración 131 Sistema de calificación energética A-G en edificios. Fuente: a04arquitectos.com.

De esa manera, las emisiones equivalentes de dióxido de carbono se pueden calcular con los factores de paso 0,252 y 0,331 kg eq. CO₂/kWh de energía final, para gas natural y energía eléctrica respectivamente (obtenidos del IDAE o también del programa certificador HULC por la norma CTE), al haber calculado en el flujo de caja la energía que consumen la caldera y la subestación de la red DHC con fotovoltaica, de la siguiente manera:

EMISIONES EVITADAS EN CALEFACCIÓN

CALDERA:

5.666.250 kWh/año de energía final de gas natural x 0,252 kg eq. CO₂/kWh =
1.427.895 kg eq. CO₂/año al consumir gas natural.

$$1.430 \text{ teq CO}_2/\text{año} \times 25 \text{ años de vida útil} = 35.750 \text{ teq CO}_2$$

RED EN MODO DISTRICT HEATING:

(1.295.143 – 584.394 FV · 2/3 del año) 905.547 kWh/año de energía final de
electricidad x 0,331 kg eq. CO₂/kWh = 299.736 kg eq. CO₂/año al consumir
electricidad

$$300 \text{ teq CO}_2/\text{año} \times 25 \text{ años de vida útil} = 7.500 \text{ teq CO}_2$$

+ 0,046 teq CO₂ [TEWI de refrigerante clase A2L utilizado](#) (véase Capítulo 10)

$$\approx 7.500 \text{ teq CO}_2$$

Obteniéndose un ahorro de:

$$28.250 \text{ teq CO}_2 \text{ a lo largo de 25 años}$$

EMISIONES EVITADAS EN REFRIGERACIÓN

AIRE ACONDICIONADO:

1.834.200 kWh/año de energía final de electricidad x 0,331 kg eq. CO₂/kWh = 607.120 kg eq. CO₂/año al consumir gas natural.

$$607 \text{ teq CO}_2/\text{año} \times 25 \text{ años de vida útil} = 15.175 \text{ teq CO}_2$$

RED EN MODO DISTRICT COOLING:

(1.310.143 kWh/año – 584.394 FV · 1/3 del año) 1.115.345 kWh/año de energía final de electricidad x 0,331 kg eq. CO₂/kWh = 369.179 kg eq. CO₂/año al consumir electricidad

$$369 \text{ teq CO}_2/\text{año} \times 25 \text{ años de vida útil} = 9.225 \text{ teq CO}_2$$

$$+ 0,046 \text{ teq CO}_2 \text{ TEWI de refrigerante clase A2L utilizado}$$

$$\approx 9.225 \text{ teq CO}_2$$

Obteniéndose un ahorro de:

$$5.950 \text{ teq CO}_2 \text{ a lo largo de 25 años}$$

Se ha logrado evitar en total:

34.200 toneladas equivalentes de CO₂ a lo largo de 25 años

(que son 1.368 teq CO₂/año)

Es decir, **se ahorran casi un 70% de las emisiones**, como se demuestra en la ilustración 132.

AHORRO EN EMISIONES NOCIVAS	
Contaminación de caldera + AC	50.925,0 teq CO ₂
Contaminación de DHC	16.725,0 teq CO ₂
Ahorro en emisiones	34.200,0 teq CO ₂
Ahorro en emisiones equivalente a	67 %

Ilustración 132 Ahorro en emisiones equivalentes de CO₂. Elaboración propia en Excel.

5.3. CERTIFICACIÓN RESULTANTE DE LOS EDIFICIOS DEL TFM

Se aprovecha el desenlace de este capítulo con la calificación energética, para comparar la mejora de la eficiencia energética y un aporte de renovables (fotovoltaica FV) -éstas dos se evalúan en la Energía primaria no renovable (P.NR)- y una reducción considerable de emisiones equivalentes de CO₂ comentadas en el apartado anterior. Véase la tabla 1.

<p>CALDERA – Calefacción (gas natural)</p> <p>Calificación Energía P.NR calefac.: $5.666.250 \text{ kWh/año} / 60.448 \text{ m}^2 = 93,74 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$ (D)</p> <p>Emisiones: $1.428.000 \text{ kg eq CO}_2 / 60.448 \text{ m}^2 = 23,6 \text{ kg eq CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ (D)</p> <p>AC – Refrigeración (energía eléctrica)</p> <p>Calificación Energía P.NR refriger.: $1.834.200 \text{ kWh/año} / 60.448 \text{ m}^2 = 30,3 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$ (F)</p> <p>Emisiones: $607.120 \text{ kg eq CO}_2 / 60.448 \text{ m}^2 = 10,04 \text{ kg eq CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ (G)</p> <p>Resultados de la SITUACIÓN CONVENCIONAL ACTUAL EN LOS EDIFICIOS DE ESTE TFM</p> <p>Calificación Energía P.NR total: $124 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$ (D)</p> <p>Emisiones totales: $33,64 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ (E)</p>
<p>Circuito primario DHC</p> <p>En modo Calefacción: (bombas de calor de alta temperatura BCHT)</p> <p>Calificación Energía P.NR calefac.: $905.547 \text{ kWh/año} / 60.448 \text{ m}^2 = 15 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$ (A)</p> <p>Emisiones: $299.736 \text{ kg eq. CO}_2/\text{año} / 60.448 \text{ m}^2 = 4,9 \text{ kg eq CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ (A)</p> <p>En modo Refrigeración: (máquinas de absorción)</p> <p>Calificación Energía P.NR refriger.: $1.115.345 \text{ kWh/año} / 60.448 \text{ m}^2 = 18,5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$ (D)</p> <p>Emisiones: $369.179 \text{ kg eq. CO}_2/\text{año} / 60.448 \text{ m}^2 = 6,1 \text{ kg eq CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ (E)</p> <p>(Estos resultados sólo demuestran que la máquina de absorción tiene rendimientos del 90%; pero las BCHT del 300% por su COP, como se explicó en el Capítulo 4.)</p> <p>Resultados de la SITUACIÓN PROPUESTA PARA LOS EDIFICIOS DE ESTE TFM</p> <p>Calificación Energía P.NR total: $33,5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$ (A) → 73% eficiencia energética global</p> <p>Emisiones totales: $11 \text{ kg eq CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ (B) → 67% emisiones evitadas (comprobado 5.2.)</p>

Tabla 1 Calificación energética del resultado comparativo, basada en el programa CERMA. Elaboración propia.

Nota: Los 60.448 m² son la suma de las áreas habitables acondicionadas de los 11 edificios del TFM, cuyos datos por edificio se obtuvieron de la Sede electrónica Catastral.

Las letras de calificación energética de la tabla anterior se han obtenido de la ilustración 133, que muestran exactamente cómo certifica los edificios y sistemas el programa CERMA.

Emisiones CO2 (kg/m2 año)

Calefacción	Refrigeración	Calificación energética Emisiones Totales CO2 (kg/m2 año)
A: < 4,9	A: < 1,4	A: < 8,4
B: 4,9 < 9,3	B: 1,4 < 2,2	B: 8,4 < 13,6
C: 9,3 < 15,8	C: 2,2 < 3,5	C: 13,6 < 21,1
D: 15,8 < 25,3	D: 3,5 < 5,3	D: 21,1 < 32,4
E: 25,3 < 54,8	E: 5,3 < 6,6	E: 32,4 < 66,3
F: 54,8 < 64,1	F: 6,6 < 8,1	F: 66,3 < 79,6
G: >= 64,1	G: >= 8,1	G: >= 79,6

Energía primaria no renovable (kWh/m2 año)

Calefacción	Refrigeración	Calificación energética Energía primaria no renov.(kWh/m2 año)
A: < 16,9	A: < 5,6	A: < 37,1
B: 16,9 < 39,2	B: 5,6 < 9,1	B: 37,1 < 60,1
C: 39,2 < 70,7	C: 9,1 < 14,1	C: 60,1 < 93,2
D: 70,7 < 118,3	D: 14,1 < 21,7	D: 93,2 < 143,3
E: 118,3 < 250	E: 21,7 < 26,9	E: 143,3 < 298,1
F: 250,8 < 293,4	F: 26,9 < 33,0	F: 298,1 < 336,8
G: >= 293,4	G: >= 33,0	G: >= 336,8

Ilustración 133 Letras de calificación energética aplicadas al resultado del TFM. Fuente: Rangos de CERMA.

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS

En este capítulo, se redactan las conclusiones obtenidas de la elaboración del proyecto y se plantean ideas creativas de investigación para un futuro cercano, que el lector podrá mirar más en profundidad si le fueran de interés.

Las redes de distrito son una alternativa eficiente desde un punto de vista energético que contribuye a la reducción global de emisiones y, por tanto, mitigar el calentamiento global. Ofrecen una gran oportunidad de aprovechamiento de calor residual y, al ser un sistema centralizado para abastecer a tantos edificios como se deseen, permite implementar mejor las tecnologías que significan un ahorro energético relevante sobre las tecnologías convencionales.

En este proyecto en concreto, se ha estudiado el estado actual de otros sistemas de aprovechamiento de calor disipado para otras aplicaciones, tomándolos como referencia, se ha diseñado un sistema de aprovechamiento completo que cumple con la normativa vigente y relevante específica, se ha dimensionado todo lo que interviene en la instalación de la DHC del proyecto, se ha logrado estimar un abastecimiento de 3 MW en invierno y en verano a aproximadamente 3.750 personas de 11 edificios (9 edificios de viviendas y 2 edificios de oficinas) y los ahorros alcanzados (económicos, en emisiones nocivas durante la vida útil, y en energéticos), en comparación con la alternativa convencional de caldera y aire acondicionado de la que parten los edificios del barrio Rejas (Madrid).

Dichas tecnologías y líneas de investigación que pueden contribuir en la idea de este proyecto son:

- Cogeneración, trigeneración, tetrageneración (el cuarto tipo es energía mecánica) y cuadrigeración (el cuarto tipo es captación de emisiones de dióxido de carbono) [36]. Serían auxiliares o parte de la central térmica de este proyecto.
- Calor residual de valorización de residuos sólidos urbanos o de procesos industriales. Véase el RD 413/2014, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Proporción de fuentes renovables, como ahorro eléctrico de las bombas de calor:
 - Biomasa y biocombustibles
 - Geotermia
 - solar fotovoltaica (y en otras aplicaciones, la solar térmica)
 - energía eólica
 - combinación de energías renovables (FV + eólica, etc.)
 - combustible hidrógeno verde
 - fusión en vez de fisión nuclear, como forma optimizada (por láser) de generar energía eléctrica más eficiente al consumir menos uranio.

- Tecnologías innovadoras en los propios centros de datos (CPDs), como refrigeración por inmersión de la empresa Submer, para no requerir chillers y ser más directo y suficiente.
- Se plantea un sistema de control distribuido, robusto y conectado a la Nube, utilizando autómatas programables industriales (PLC). Uno sería el encargado de controlar la sala de máquinas y conectarse de manera inalámbrica (al menos por vía mensajería por radio GSM/GPRS) con el resto de controladores del sistema y la Nube. Se sugiere valorar el uso de PLC de Siemens, el modelo LOGO! 8 en concreto, ya que es compacto, modular, relativamente económico y con excelentes opciones de comunicación a la Nube y a los módulos de control de Sedical que tendrán las subestaciones de la red DHC por cada edificio. En el apartado 7.1., se puede observar la nomenclatura que llevarían todas aquellas entradas y salidas del PLC, según viene dibujado.
- Favorecer la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, acerca de crear parques inmobiliarios de alta eficiencia energética y consumo casi nulo (Passivhaus).
- Podría programarse un software de cálculo que ayude a generar más rápidamente la calificación energética de sistemas DHC que específicamente conecten un CPD con edificios próximos al mismo, para por ejemplo la página web CTE del MITECO. Se deja incluso un nombre del programa creativo: CEREDA (CERTificación de REdes de distrito urbanas conectadas a centros de DATos).
- Y aunque aún se está tratando de desarrollar su rendimiento, se mencionan cuatro soluciones más estéticas de las energías renovables para edificios en general:
 - Paneles fotovoltaicos transparentes en las ventanas, incorporados en los vidrios de las mismas, y también en fachadas.
 - Cubierta fotovoltaica en los faldones de naves industriales.
 - Tejados solares, de un peculiar color azul oscuro.
 - Aerogeneradores vórtex (sin álabes, mástil vibratorio cuya versión mini produce 4 kW y su modelo mayor como mínimo 1 MW).

Este proyecto cumple los ODS para 2030:

- 7. Energía asequible y no contaminante:
 - ahorros económicos del 64%
 - mayor eficiencia energética (ahorro de consumo) del 73%
 - y ahorro de emisiones nocivas del 67%
- 8. Trabajo decente y crecimiento económico:
 - se generarán empleos para:
 - el diseño
 - ejecución:
 - obra: construcción de sala de máquinas, y obra civil.
 - Instalaciones: de climatización, electricidad, fotovoltaica, protección contra incendios, control y digitalización.
 - E inspecciones y mantenimiento del sistema global DHC.
- 9. Industria, innovación e infraestructura:
 - máquinas y mecanismos suficientes y altamente eficientes en industria
- 11. Ciudades y comunidades sostenibles:
 - utilizando tecnologías básicas que sólo pueden mejorar con las nuevas innovaciones
- 12. Producción y consumo responsables (de energía calorífica y frigorífica)
- 13. Acción por el clima (la mitad de las emisiones a la atmósfera)

Esta idea de proyecto, asimismo, ha explorado (y anima a explorar) más allá de la manera habitual de consumir energía sin renunciar al confort (de hecho, incrementándolo en las estancias de los edificios) y de cómo es mejor utilizarla (eficiencia energética y eficiencia de recursos necesarios), para agilizar el cumplimiento de los objetivos porcentuales definidos por el **Paquete de Energía Limpia**, donde:

- para las emisiones de gases de efecto invernadero se exige para 2030 una reducción en España del 21%,
- la contribución de energías renovables a la energía final deberá aumentarse en un 42%,
- y la mejora de la eficiencia energética de los sistemas contratados deberá aumentar en un 39,6% (todos con los valores de 1990 como referencia).

Como dicho Paquete va incluido dentro del **Marco estratégico de Energía y Clima**, en la reducción de excesos innecesarios y mejoras hasta el 2050 (según la ERESEE y ELP, el PNIEC y el PNACC), también incluye metas hasta ese año, que son:

- haber reducido en un 90% todas las emisiones de GEIs en la UE entera
- y haber expandido las energías renovables en el 100% en España.

El barrio Rejas (Madrid), en este proyecto, tiene la oportunidad de vivir en una comunidad sostenible y más limpia a partir de ahora.

Capítulo 7. ANEXOS A LA MEMORIA

Los anexos son documentos complementarios y asociados a la Memoria descriptiva del proyecto, con planos detallados de esquemas de principio de funcionamiento, especificaciones, y hojas características de las fichas técnicas de los catálogos.

7.1. PLANOS

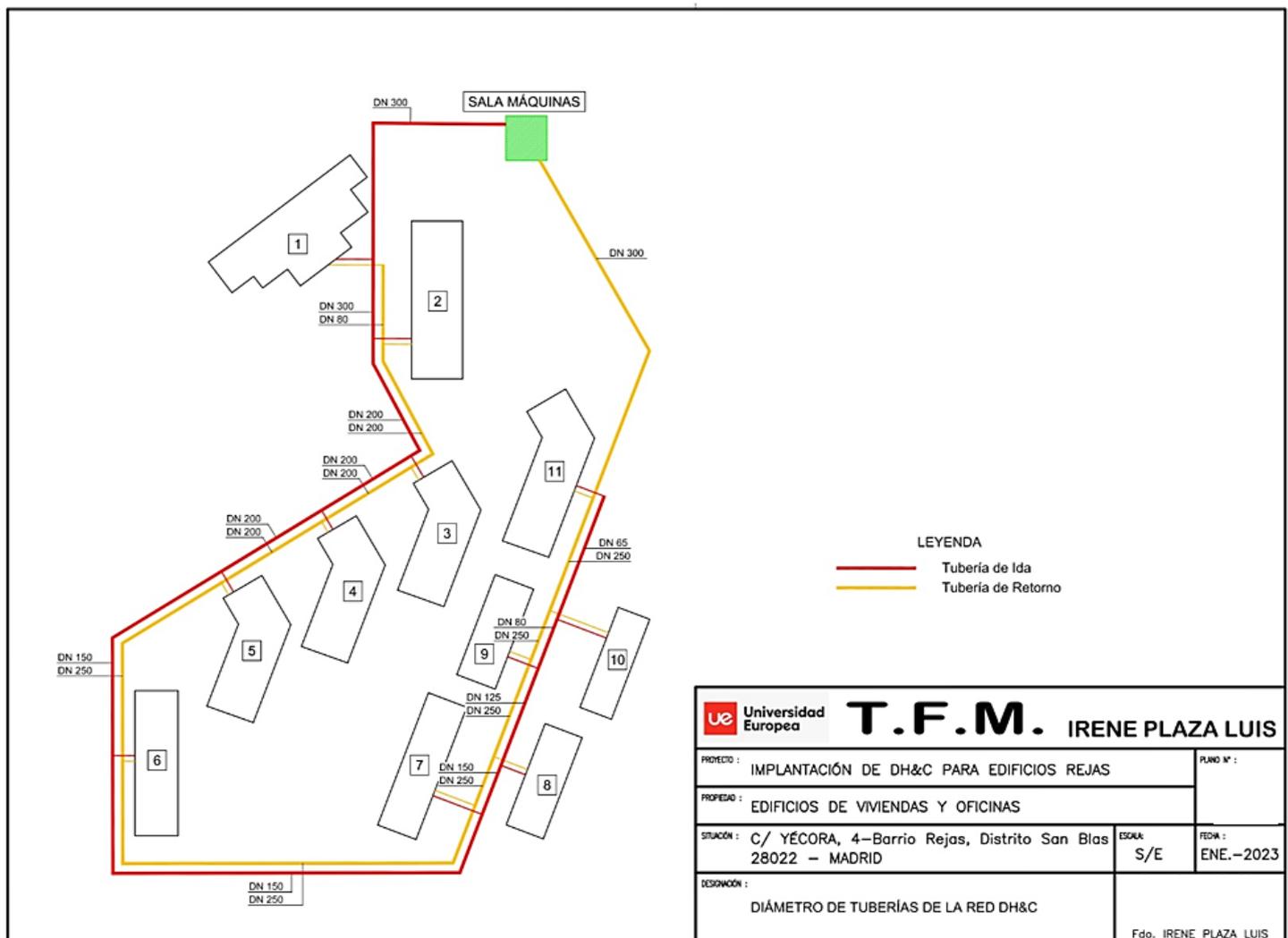


Ilustración 134 Plano de caudales y diámetros nominales de la red DHC, al contorno de edificios. AutoCAD.

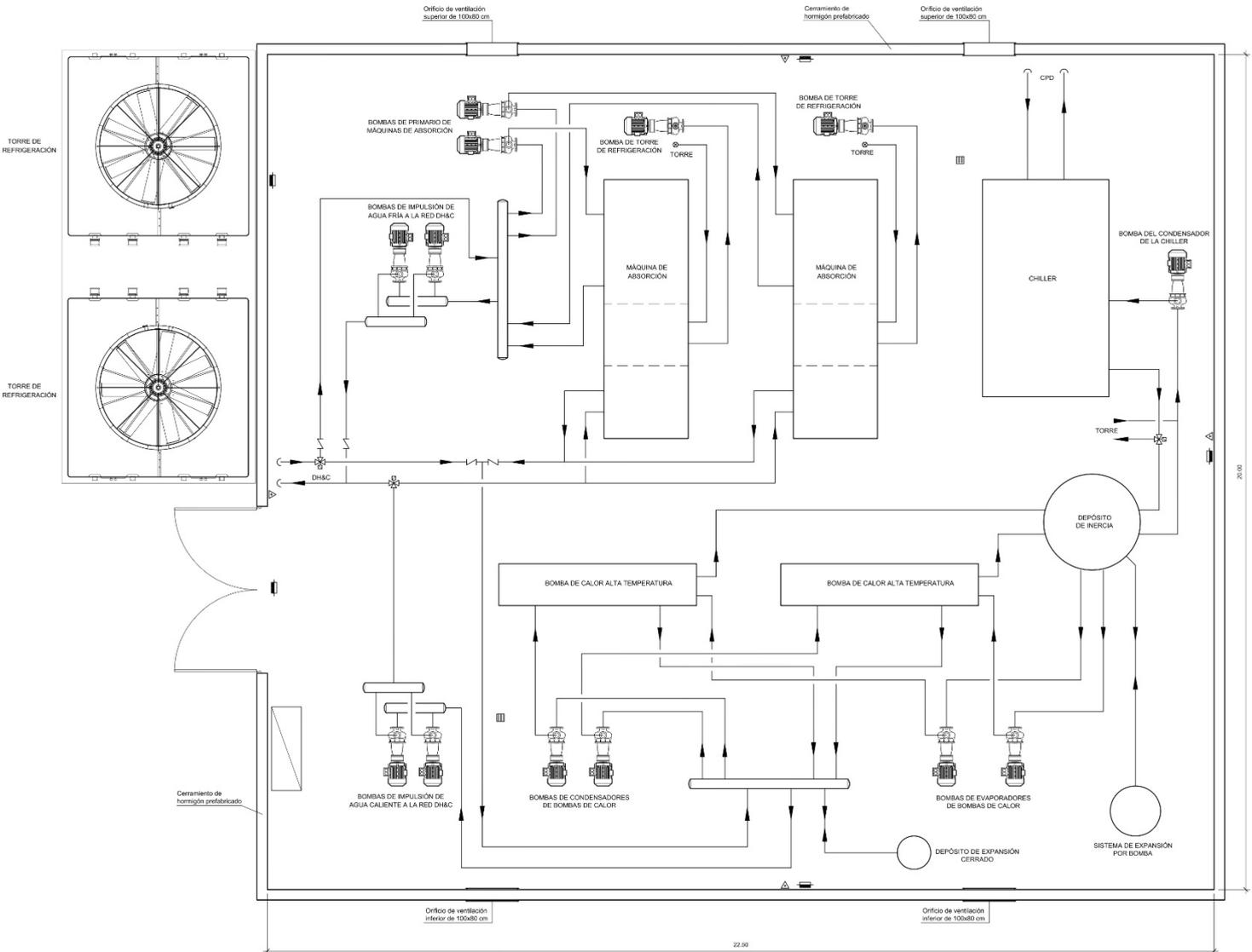


Ilustración 135 Plano Esquema de la sala de máquinas del proyecto (vista oeste). AutoCAD.



Ilustración 136 Plano de la instalación fotovoltaica sobre la nave del CPD y sobre la Sala de máquinas. Google Maps y AutoCAD.

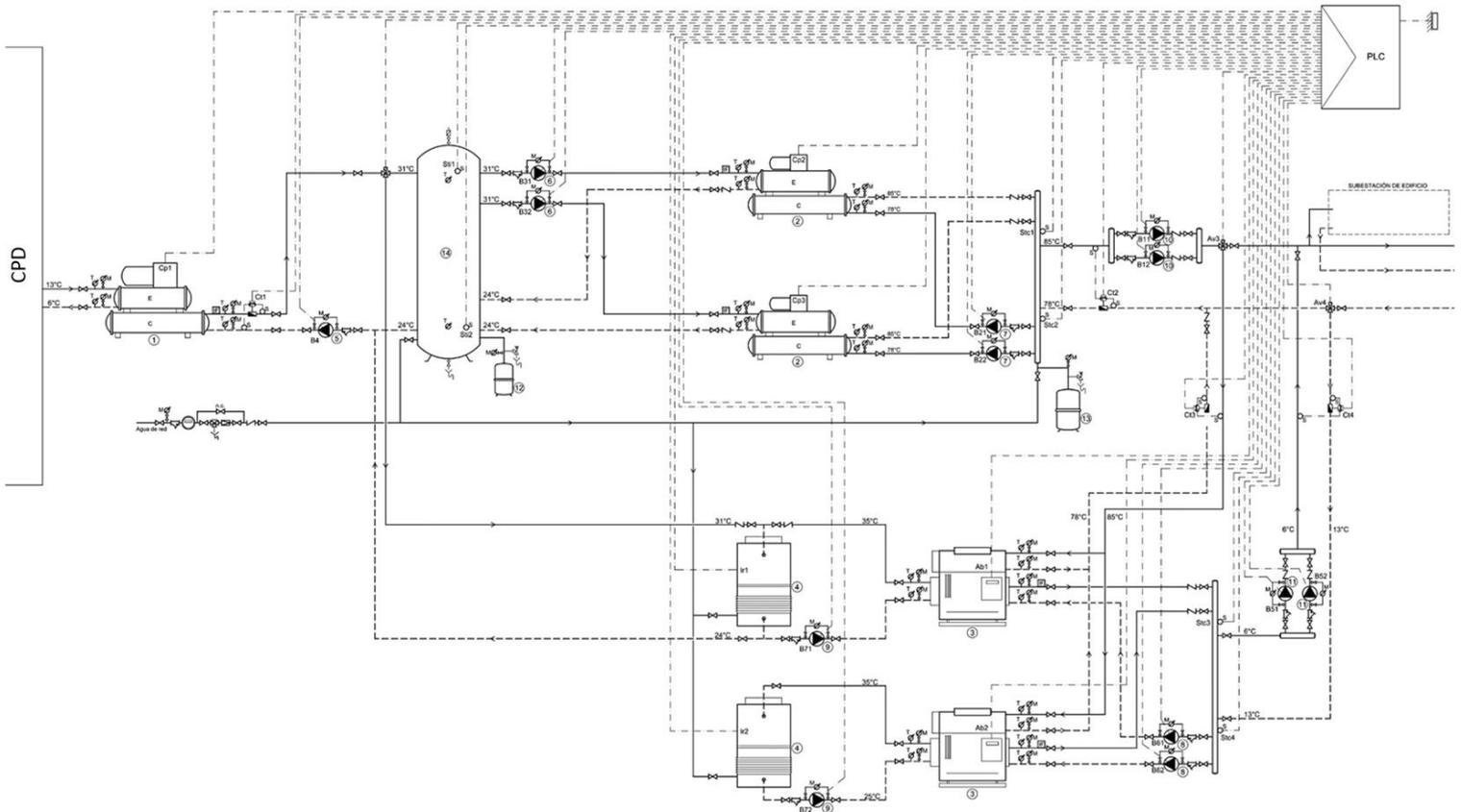


Ilustración 137 Plano de la red DHC desde el CPD a subestaciones, controlada por PLC. AutoCAD.

1. Enfriadora de agua (chiller) marca CARRIER mod. 19DVG42
Potencia frigorífica 2.060 kW
Potencia calorífica 2.302 kW
2. Bomba de calor de alta temperatura marca CARRIER mod. 61XWH-14ZE
Potencia frigorífica 793 kW
Potencia calorífica 1.369 kW
3. Máquina de absorción marca CARRIER-SANYO mod. 16LJ53
Potencia frigorífica 1.828 kW
Potencia calorífica 4.000 kW
4. Torre de refrigeración marca EWK mod. 1800/09
Potencia calorífica disipada 4.186 kW
5. Bomba circuladora de enfriadora (chiller) marca GRUNDFOS mod. NB 150-315/322
Caudal 285 m³/h
Altura manométrica 8,3 m.c.a.
6. Bomba circuladora evaporador de bomba de calor marca GRUNDFOS mod. NB 100-160/176
Caudal 95 m³/h
Altura manométrica 5,5 m.c.a.
7. Bomba circuladora condensador de bomba de calor marca GRUNDFOS mod. NB 80-160/177
Caudal 203 m³/h
Altura manométrica 5,4 m.c.a.
8. Bomba circuladora primario de máquina de absorción marca GRUNDFOS mod. NB 150-250/252
Caudal 204 m³/h
Altura manométrica 6,3 m.c.a.
9. Bomba circuladora torre de refrigeración marca GRUNDFOS mod. NB 150-315/250
Caudal 551 m³/h
Altura manométrica 6,5 m.c.a.
10. Bomba circuladora de la red de calor marca GRUNDFOS mod. NBG 250-200-450/455
Caudal 407 m³/h
Altura manométrica 49,6 m.c.a.
11. Bomba circuladora de la red de frío marca GRUNDFOS mod. NBG 250-200-450/455
Caudal 407 m³/h
Altura manométrica 49,6 m.c.a.
12. Depósito de expansión marca SEDICAL mod. S140 de 140 litros
13. Sistema de expansión por bomba marca SEDICAL mod. VG 4000/10 DE 4.000 litros
14. Depósito de inercia marca LAPESA de 10.000 litros

Ilustración 138 Resumen del presupuesto a modo de leyenda del plano de red DHC. AutoCAD.

SIMBOLOGÍA

	Controlador
	Sonda de temperatura exterior
	Sonda de temperatura de agua
	Termómetro
	Manómetro
	Interruptor de flujo
	Regulador automático de caudal K-Flow
	Llave de corte
	Válvula de retención
	Válvula de tres vías desviadora
	Válvula de dos vías automática
	Válvula de equilibrado
	Filtro de malla
	Desagüe
	Desconector
	Válvula reductora de presión
	Contador de energía térmica
	Contador de agua
	Purgador automático

Ilustración 139 Leyenda de la simbología del plano de la red DHC. AutoCAD.

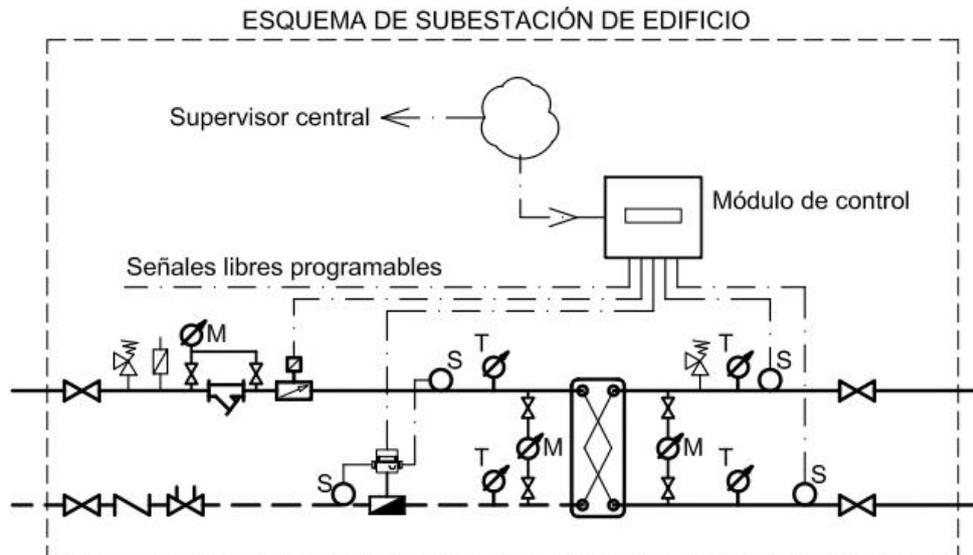


Ilustración 140 Esquema de la subestación de intercambio Sedical y de su control. AutoCAD.

7.2. FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS PRESUPUESTADOS

En este apartado, se mostrarán por orden las imágenes que reflejan las características de los elementos principales que han sido dimensionados y seleccionados para completar el proyecto, por sus prestaciones técnicas y relación calidad-precio.

El resto de elementos con su descripción figuran en el Capítulo 9 Presupuesto.



19DV-G42G42462AD9

Chiller	
Starter Type	VFD – Unit Mounted (High tier)
Refrigerant Type	R-1233zd(E)
Envelope Stability Control	Installed
Liquid Bypass	Not Installed
Free Cooling	NA
Operation Type	Cooling
Manufacturing Source	Montreal, France

Configuration	Cooler	Condenser
Size	G42	G42
Waterbox Type	Nozzle-in-Head, 150 psi (Standard)	Nozzle-in-Head, 150 psi (Standard)
Passes	2	2
Nozzle Arrangement	C - 2 Pass, Inlet on 2nd stage End	R - 2 Pass, Inlet on 2nd stage End
Tubing	BS LSL(SUPBSLSL), 025 in., Copper	Spike 3 (SPK3), 025 in., Copper
Fluid Type	Fresh Water	Fresh Water
Fouling Factor	0.0176 m2 K/kW	0.0440 m2 K/kW
Tube Quantity	443	588

Compressor	
Size	462

Weights	
Total Rigging Weight	17008 kg
Total Operating Weight	19288 kg
Refrigerant Weight	579 kg

Motor and Starter	
Motor Size	NDH
Line Voltage-Phase-Hertz	400-3-50
VFD Code	A
VFD Size	C

Flow Controls	
Condenser float valve	HN
Economizer float valve	LN

NPLV.IP				
Chiller				
Percent Load	100.00	75.00	50.00	25.00
Capacity	2750 kW	2063 kW	1375 kW	687.5 kW
Input kW	432.6 kW	234.9 kW	107.5 kW	55.17 kW
COPE	6.358 WW	8.779 WW	12.79 WW	12.46 WW
NPLV.IP	11.00 WW	NA	NA	NA
Cooler				
Entering Temperature	13.00 °C	11.25 °C	9.50 °C	7.75 °C
Leaving Temperature	6.00 °C	6.00 °C	6.00 °C	6.00 °C
Flow Rate	93.85 L/s	93.85 L/s	93.85 L/s	93.85 L/s
Pressure Drop	68.8 kPa	68.8 kPa	68.9 kPa	69.0 kPa
Condenser				
Heat Rejection	3183 kW	2297 kW	1483 kW	742.7 kW
Leaving Temperature	35.00 °C	27.99 °C	21.12 °C	19.73 °C
Entering Temperature	29.00 °C	23.67 °C	18.33 °C	18.33 °C
Flow Rate	127.5 L/s	127.5 L/s	127.5 L/s	127.5 L/s
Pressure Drop	69.6 kPa	71.7 kPa	74.0 kPa	74.2 kPa
Motor and Starter				
Motor Amps	702	470	307	239
Motor OLTA	759	NA	NA	NA
Chiller line Amps	623	343	159	84
Chiller Inrush Amps	623	NA	NA	NA
Max Fuse/ CB Amps	1200	NA	NA	NA
Min Circuit Ampacity	778	NA	NA	NA
Heat Exchangers				
Condensing Temp	36.8 °C	29.2 °C	21.9 °C	20.1 °C
Cooler Wall Temp	6.5 °C	6.4 °C	6.3 °C	6.2 °C
Suction Temp	5.1 °C	5.3 °C	5.6 °C	5.5 °C
Cooler Freeze Temp	2.2 °C	2.2 °C	2.2 °C	2.2 °C
Cooler Tube Vel	1.93 m/s	1.93 m/s	1.93 m/s	1.93 m/s
Cond Tube Vel	2.29 m/s	2.29 m/s	2.29 m/s	2.29 m/s



Certified in accordance with the AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, which is based on AHRI Standard 550/590 (L/P) and AHRI Standard 551/561 (S). Certified units may be found in the AHRI Directory at www.ahridirectory.org

<http://www.ahridirectory.org>

Ilustración 141 Chiller agua-agua 19DVG42, de Carrier.

61XWH-14ZE

Bomba de calor de alta temperatura refrigerada por agua

Información sobre rendimiento

Modo		Calefacción
Capacidad Calorífica ⁽¹⁾	kW	1369
Capacidad frigorífica al origen ⁽¹⁾	kW	793
Eficiencia en la calefacción (COP) ⁽¹⁾	kW/kW	2.26
Potencia absorbida por la unidad ⁽¹⁾	kW	606
Nivel de potencia sonora (LwA) ⁽¹⁾	dB(A)	100.7
Nivel de presión acústica a 1.0m (LpA) ⁽¹⁾	dB(A)	82.4
Potencia mínima	kW	355
Potencia máxima	kW	1369

(1) Todas las actuaciones cumplen con la norma EN 14511-3:2018. Nivel de potencia de sonido según ISO 10696:14-1.

Condiciones de funcionamiento

Elemento del sistema		Calefacción
Evaporador		
Fluido		
Tipo de fluido		
Factor de suciedad	(sqm-K)/kW	0
Temperatura de salida	°C	15.0
Temperatura de entrada	°C	20.0
Caudal de fluido	l/s	38.0
Pérdida de carga total	kPa	25.9
Condenser		
Fluido		
Tipo de fluido		
Factor de suciedad	(sqm-K)/kW	0
Temperatura de salida	°C	85.0
Temperatura de entrada	°C	70.0
Caudal de fluido	l/s	22.3
Pérdida de carga total	kPa	15
Altura	m	0

Configuración de la unidad

149	BACnet/IP
194	Válvulas de alivio de presión dobles instaladas mediante una válvula de 3 vías
257	Bajo nivel sonoro
266	Kit para la conexión soldada del evaporador
267	Kit de conexión soldada del agua del condensador
81	Punto único de conexión de la alimentación de fuerza



Cuadro no contractual

Información acerca del equipo

Lugar de fabricación		Montluel
RefrigerantType		R-1234ze(E)
Carga de refrigerante	kg	330
Toneladas equivalentes de CO2	Tonnes	2.31
Número de circuitos refrigerantes		2
Número de pasadas (evaporador / condensador)		2 / 2
Diámetro de conexión (evaporador)	mm	203.2
Diámetro de conexión (condensador)	mm	203.2
Número de compresor		2
Peso en funcionamiento/envío	kg	8031/7370
Dimensiones de la unidad (LxWxH)	mm	4730x1148x2070

Información eléctrica

Tensión de la unidad	V-Ph-Hz	400-3-50
Potencia en modo de espera	kW	0.100
Factor de potencia		0.810
Circuito eléctrico		Alimentación 1
Intensidad Máxima	A	1012
Corriente de arranque	A	2425

Documentación

	PSD
	IOM
	Technical drawing
	Revit file



CARRIER participates in the ECP program for Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps. Check ongoing validity of certificate: www.eurovent-certification.com.
Outside the scope of AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI).

Page 1/1

Package Chiller Builder-EMEA v5.02.0.0 (date 8/11/2022)

Ilustración 142 BCHT 61XWH-14ZE, de Carrier.

Datos técnicos

Enfriadoras de absorción de agua caliente

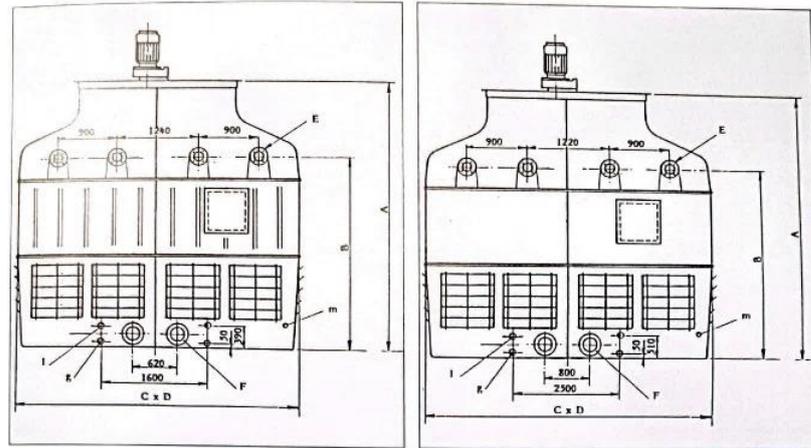
16LJ		11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	41	42	51	52	53
Capacidad de refrigeración	kW	264	316	387	475	545	633	738	844	949	1055	1178	1319	1477	1653	1846
Sistema de agua enfriada*																
Caudal	l/s	11,4	13,6	16,7	20,4	23,5	27,3	31,8	36,3	40,9	45,4	50,7	56,8	63,6	71,2	79,5
Caja de presión	kPa	55	60	36	39	35	37	74	79	76	80	75	75	62	32	42
Conexión (ANSI)	pulg.	3	3	4	4	5	5	5	5	6	6	8	8	8	8	8
Volumen de retención	m ³	0,12	0,13	0,15	0,17	0,22	0,24	0,28	0,30	0,34	0,36	0,46	0,48	0,65	0,71	0,77
Sistema del agua de refrigeración*																
Caudal	l/s	17,0	20,4	25,0	30,7	35,2	40,9	47,7	54,4	61,3	68,1	76,1	85,2	95,4	106,7	119,2
Caja de presión	kPa	36	39	105	111	108	112	103	106	97	98	98	102	146	88	117
Conexión (ANSI)	pulg.	5	5	5	5	6	6	8	8	8	8	10	10	12	12	12
Volumen de retención	m ³	0,35	0,38	0,43	0,48	0,60	0,65	0,72	0,79	0,99	1,06	1,25	1,35	2,03	2,18	2,32
Sistema de agua caliente*																
Caudal	l/s	10,4	12,4	15,2	18,7	21,4	24,9	29	33	37	41	46	52	58	65	73
Caja de presión	kPa	31	12	29	32	30	31	30	30	29	29	28	28	28	37	49
Conexión (ANSI)	pulg.	4	4	4	4	5	5	6	6	6	6	8	8	8	8	8
Volumen de retención	m ³	0,09	0,10	0,12	0,13	0,17	0,18	0,20	0,22	0,27	0,29	0,34	0,36	0,44	0,48	0,51
Conexión del disco de seguridad	pulg.	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Longitud (L)	mm	2720	2720	3740	3740	3830	3830	4860	4860	4990	4990	5070	5070	5200	5740	6240
Anchura (W)	mm	1295	1295	1295	1295	1455	1455	1455	1455	1515	1515	1615	1615	1950	1950	1950
Altura (H)	mm	2215	2215	2215	2215	2350	2350	2350	2350	2620	2620	2870	2870	3200	3200	3200
Espacio para retirada de tubos	mm	2400	2400	3400	3400	3400	3400	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4600	5200	5700
Peso en orden de funcionamiento	kg	4000	4200	5200	5500	6700	7100	8200	8700	10600	11100	12900	13400	18200	19700	21100
Peso máx. de transporte	kg	3500	3600	4500	4700	5700	6000	7000	7300	9000	9400	10800	11200	15100	16400	17600
Peso total de transporte	kg	3500	3600	4500	4700	5700	6000	7000	7300	9000	9400	10800	11200	15100	16400	17600
Método de transporte	Una pieza															
Alimentación	400 V-3 fases-50 Hz															
Potencia aparente	kVA	4,0	4,0	4,0	4,0	5,8	5,8	5,9	5,9	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
Corriente eléctrica total	A	6,2	6,2	6,2	6,2	8,9	8,9	9,0	9,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Bomba de absorbente	kW	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2	2,2	2,2	2,2	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	A	2,8	2,8	2,8	2,8	5,5	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Bomba de refrigerante	kW	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	A	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Bomba de purga	kW	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	A	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Calentador de célula de paladio	W	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Circuito de control	W	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Leyenda

* De acuerdo con ARI 560 - 2000
 12,2→ 6,7°C (factor de ensuciamiento = 0,0176 m² K/kW)
 29,4→ 38,4°C (factor de ensuciamiento = 0,044 m² K/kW)
 95,0→ 86,0°C (factor de ensuciamiento = 0,0176 m² K/kW)

** Para una selección fuera de las condiciones de las normas del ARI, póngase en contacto con Carrier.

Ilustración 143 Enfriadora de absorción de simple efecto y calentamiento del generador por agua caliente, de Carrier.



EWK 1260

EWK 1800

Torres tipo EWK 1260 y 1800

Torre tipo	Potencia en KW con th. = 24°C		Peso en		Potencia Motor KW	Dimensiones (mm)					
	35/30°C	40/30°C	Servicio Kg	Vacio Kg		A	B	C	D	E	F
EWK 441/03	598	-	2700	685	5,5	2640	1962	2140	2140	DN 100	DN 150
EWK 441/06	755	1046	2745	730	5,5	2640	1962	2140	2140	DN 100	DN 150
EWK 441/09	785	1162	2890	730	5,5	2940	2262	2140	2140	DN 100	DN 150
EWK 576/03	825	-	3130	790	7,5	3425	2800	2440	2440	DN 100	DN 200
EWK 576/06	942	1279	3180	820	7,5	3425	2800	2440	2440	DN 100	DN 200
EWK 576/09	1046	1512	3350	850	7,5	3425	2800	2440	2440	DN 100	DN 200
EWK 680/06	1112	1509	4400	1350	7,5	3620	2590	3010	2260	DN 100	DN 200
EWK 680/09	1234	1785	4700	1450	7,5	3920	2890	3010	2260	DN 100	DN 200
EWK 680/12	1356	2059	4900	1550	7,5	4220	3190	3010	2260	DN 100	DN 200
EWK 900/03	1203	1615	6200	1400	11	3680	2625	4125	2025	DN 100	DN 200
EWK 900/06	1407	1976	6300	1500	11	3680	2625	4125	2025	DN 100	DN 200
EWK 900/09	1600	2558	6400	1600	11	3680	2625	4125	2025	DN 100	DN 200
EWK 1260/03	1802	-	8600	2200	15	4060	2900	4260	3040	DN 100	DN 200
EWK 1260/06	2034	2849	8800	2300	15	4060	2900	4260	3040	DN 100	DN 200
EWK 1260/09	2192	3372	9000	2400	15	4060	2900	4260	3040	DN 100	DN 200
EWK 1800/03	2384	-	12700	3100	22	3990	2905	4100	4100	DN 100	DN 250
EWK 1800/06	2761	3721	12850	3250	22	3990	2905	4100	4100	DN 100	DN 250
EWK 1800/09	3150	4186	13000	3400	22	3990	2905	4100	4100	DN 100	DN 250

Escaneado con CamScanner

Ilustración 144 Torre de refrigeración 1800/09, de EWK.

SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE VG 4000/10

Datos requeridos

Circuito:	Circuito cerrado
Tipo:	Calor
Transferencia de masa:	Con transferencia de masa (indiferente)
Membrana:	Recambiable
Fluido caloportador:	Agua
Posición:	Aspiración
Volumen de reserva:	0.5 %
Volumen de instalación:	88800 l
Potencia térmica:	4220 kW
Temperatura de seguridad:	91 °C
Temperatura máxima:	88 °C
Temperatura de impulsión:	81 °C
Temperatura del agua de llenado:	12 °C
Temperatura mínima:	4 °C
Presión válvula de seguridad:	5 bar
PO:	3.14 bar
Presión estática:	2.84 bar
Altura estática:	30 m

Criterio de diseño

Temperatura de servicio:	100 °C
Temperatura continua máx. membrana:	70 °C
Diseño y fabricación conforme a:	DEP 2014/68/UE
Volumen:	4000 l
Presión máxima:	10 bar
Temperatura máxima:	120 °C
Conexión del grupo a la red:	Roscada
Posición del vaso respecto bomba:	Interior

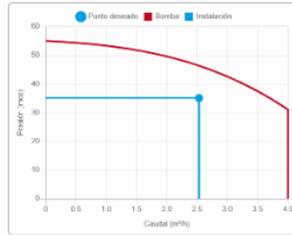
Datos de cálculo

Coefficiente de expansión:	3.19 %
Volumen de expansión total:	2.772,67 l
Volumen de reserva:	434,00 l
Volumen nominal total:	3.523,81 l

Datos de densidades segun ASHRAE

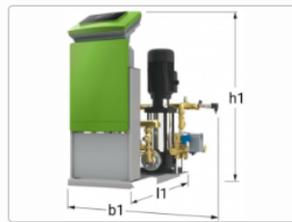
Campo de trabajo

Transferencia de masa:	Agua
Modelo:	VS 2-1/80G
Potencia:	80
Caudal:	2,53 m³/h
Presión:	35,08 mca



Unidad de control

VS 2-1/80G:	48321
h1:	920 mm
b1:	470 mm
l1:	730 mm
Conexión:	2 x G 1"
Peso:	37 kg



Vaso principal

VG 4000/10:	18292
Volumen:	4000 l
Presión Máxima:	10 bar
d1:	1500 mm
d2 (diámetro conexión):	R 1"
h1:	3180 mm
h:	380 mm
Peso:	1080 kg



Vaso de control

S 100:	17582
Volumen:	100 l
Presión Máxima:	bar
d1:	480 mm
d2 (diámetro conexión):	R 1"
h1:	644 mm
Peso:	22.7 kg



Precio Tarifa : 36.531,00 €
(IVA no incluido) 08/01/2023

Opciones

Modbus RTU Touch:	57016
Puesta en marcha:	79405
Latiguillos:	1x 18294
Contador:	17624

Ilustración 145 Depósito de expansión de 4000 L con bomba, para la red DHC, de Sedical.



SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE S 140

Datos requeridos

Circuito:	Circuito cerrado
Tipo:	Calor
Transferencia de masa:	Sin transferencia de masa
Membrana:	Recambiable
Fluido caloportador:	Agua
Posición:	Aspiración
Volumen de reserva:	0.5 %
Volumen de instalación:	2500 l
Potencia térmica:	4220 kW
Temperatura de seguridad:	45 °C
Temperatura máxima:	40 °C
Temperatura de impulsión:	35 °C
Temperatura del agua de llenado:	12 °C
Temperatura mínima:	4 °C
Presión válvula de seguridad:	5 bar
P0:	3.14 bar
Presión estática:	2.94 bar
Altura estática:	30 m

Criterio de diseño

Temperatura de servicio:	100 °C
Temperatura continua máx. membrana:	70 °C
Diseño y fabricación conforme a:	DEP 2014/68/UE
Volumen:	140 l
Presión máxima:	10 bar
Temperatura máxima:	120 °C
Conexión del grupo a la red:	Roscada
Posición del vaso respecto bomba:	Inferior

Datos de cálculo

Coefficiente de expansión:	0,77 %
Volumen de expansión total:	19,35 l
Volumen de reserva:	12,50 l
Volumen nominal total:	128,81 l

Datos de densidades según ASHRAE

Opciones

Precio Tarifa : 723,00 €
(IVA no incluido) 08/01/2023

Vaso de expansión

S 140:	20504
Volumen:	140 l
Presión Máxima:	10 bar
d1:	480 mm
d2 (diámetro conexión):	R 1"
h1:	886 mm
Peso:	29 kg

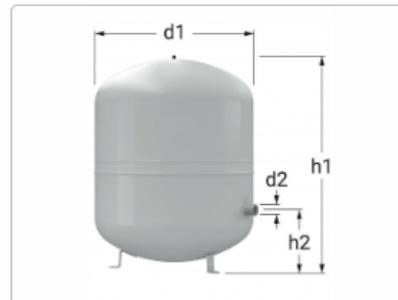
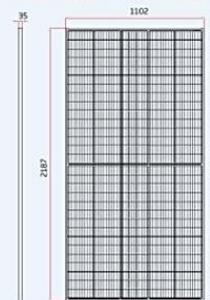


Ilustración 146 Depósito de 140 L entre chiller y BCHT, de Sedical.

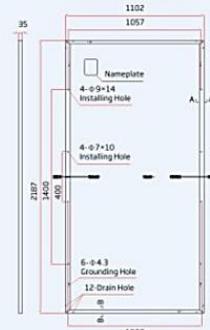


BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

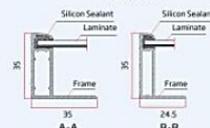
DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



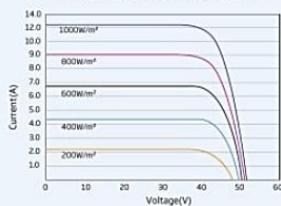
Front View



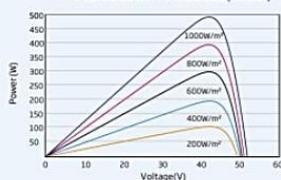
Back View



I-V CURVES OF PV MODULE(495W)



P-V CURVES OF PV MODULE(495W)



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	485	490	495	500	505	510
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75	11.81
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9	52.1
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35	12.42
Module Efficiency η_m (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: ±3%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	365	369	373	377	381	385
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	39.9	40.0	40.2	40.4	40.6	40.5
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	9.17	9.22	9.28	9.33	9.38	9.50
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	48.1	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	9.73	9.78	9.84	9.90	9.95	10.01

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2187×1102×35 mm (86.10×43.39×1.38 inches)
Weight	26.5 kg (58.4 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²). Portrait: N 280mm/P 280mm(11.02/11.02inches) Landscape: N 1400 mm /P 1400 mm (55.12/55.12 inches)
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT(Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.34%/ °C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.25%/ °C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.04%/ °C

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85 °C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20A

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 31 pieces
Modules per 40' container: 620 pieces



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
© 2021 Trina Solar Co.,Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.
Version number: TSM_EN_2021_A www.trinasolar.com

Ilustración 147 Módulos FV, de Trina Solar - Vertex.

CONECTIVIDAD Y MONITORIZACIÓN

WEB SERVER INTEGRADO

Pasarela de comunicaciones integrada para proporcionar acceso completo vía Web Server. Este servidor web permite al usuario acceder a los datos del inversor en diferentes idiomas y grabar los siguientes datos: estado, parámetros, eventos, registro de eventos, funcionamiento.

ESPECIFICACIONES GENERALES		
Modelo	ZGR SOLAR CTR 150	ZGR SOLAR CTR 300
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS		
Potencia nominal de salida (AC)	150 kVA	300 kVA
Máxima potencia FV recomendada	+5% a +20%	
Tensión nominal AC	3 x 400 V	
Frecuencia nominal	50 / 60 Hz	
Factor de potencia	1 ajustable \pm 0,8 (sin sobrepasar la potencia aparente del equipo)	
Corriente nominal de línea AC	217 A	435 A
Distorsión corriente AC	< 3% THD a potencia nominal	
Máxima corriente de fallo en AC	250 A	450 A
Máxima protección de sobrecorriente en AC	250 A	450 A
Rango de seguimiento de máxima potencia (MPPT) DC	590- 850 Vdc	
Máxima corriente de entrada DC	260 A	521 A
Eficiencia pico	98,5%	98,5%
Eficiencia Europa	97,9%	98,2%
COMUNICACIONES		
Monitorización	Web Server a través de Ethernet	
Pantalla de usuario	Display LCD	
PROTECCIONES		
Funciones de protección	Polarización inversa, Sobre/Sub tensión AC, Sobre/Sub frecuencia, Sobretensión DC	
Seccionadores (AC y DC)	Integrados en sistema	
Supervisión del equipo autodiagnóstico	Sí	
CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES Y MECÁNICAS		
Rango de temperatura ambiente	-10°C a +55°C	
Método de refrigeración	Ventilación forzada	
Grado de protección ambiental	IP20	
Altitud de funcionamiento	1000 m sin pérdida de potencia	
Humedad relativa	0 a 95 % sin condensación	
Peso aprox.	350 kg	450 kg
NORMATIVAS		
Marcado	CE	
Directivas generales	2004/108/CE (UNE-EN 61000-6-2 / UNE-EN 61000-6-3), 2006/95/CE (IEC 62109-1, IEC 62109-2)	

* Configuraciones personalizadas bajo demanda. Consulte con ZIGOR.
* Las especificaciones técnicas podrán modificarse sin previo aviso.

DIMENSIONES

ZGR SOLAR CTR 150 / 300



ZGR SOLAR CTR 150 / 300 INVERSORES CENTRALES TRIFÁSICOS

Zigor Corporación S.A. | Portal de Gamarra Nº 28 | Vitoria-Gasteiz, Álava - España 01013 | zigor@zigor.com | +34 945 214 600 | www.zigor.com

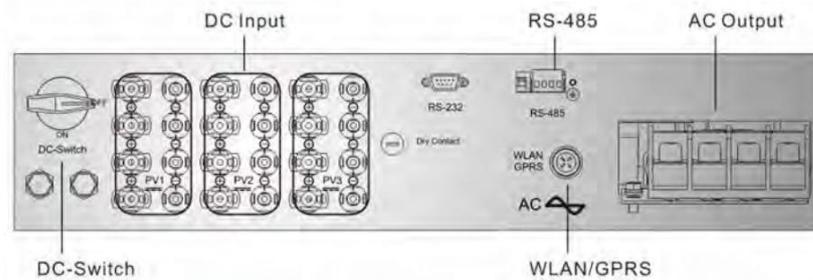
Ilustración 148 Inversor de 300 kW para instalación FV sobre la nave industrial anexa al CPD, de Zigor.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Equipo	ZGR SOLAR STR 20	ZGR SOLAR STR 50
Modelo	20K	50K
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DE ENTRADA		
Potencia máxima	22kW	55kW
Máximo voltaje FV	1000V	
Voltaje FV nominal	620V	
Rango voltaje MPPT	250V ~ 950V	
Voltaje MPP a potencia nominal	490V~ 800V	
Numero de MPPT	2	3
Máximo corriente de entrada	2 x 21 A	3 x 36A
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DE SALIDA		
Potencia nominal de salida	20KW	50KW
Corriente Máxima de salida	32A	80A
Rango voltaje AC	400Vac ± 20 %	
Rango frecuencia de red	50 / 60Hz ± 5Hz	
Rango factor de potencia	0.8 capacitivo / inductivo	
THDi	< 3 %	
Tipo de cableado	3 Fases + N + Tierra / 3 Fases + Tierra	
COMUNICACIONES		
Monitorización	Display LCD	
Comunicaciones	RS485	
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Eficiencia Máxima	98 %	98,6 %
Eficiencia Europea	97,5 %	98,2 %
Refrigeración	Ventilación Natural	Ventilación Forzada
CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES Y MECÁNICAS		
Rango de temperatura ambiente	-25 °C a +60 °C	
Grado de protección ambiental	IP65	
Nivel de ruido	< 40dB	< 60dB
Altitud de funcionamiento	< 3000m sin pérdida de potencia	
Humedad relativa	0 a 95 % sin condensación	
Dimensiones (AlxAnxF)	715 x 553 x 228mm	958 x 636 x 260mm
Peso aprox.	39kg	68kg

* Las especificaciones técnicas podrán modificarse sin previo aviso.

CONEXIONES ZGR SOLAR STR 50



DIMENSIONES



ZGR SOLAR STR 20/50 INVERSORES STRING TRIFÁSICOS

ENERGIA@ZIGOR.COM

ZGR ENERGÍA 13

Ilustración 149 Inversores de 20 y 50 kW para la instalación FV sobre la sala de máquinas, de Zigor.

Capítulo 8. PLIEGO DE CONDICIONES

El Pliego de Condiciones tiene por objeto fijar las condiciones y especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir la instalación, es decir, pretende servir de guía o serie de recomendaciones al personal instalador, para asegurar la calidad en beneficio del usuario y del propio desarrollo de esta tecnología.

8.1. CONDICIONES GENERALES DE CONTORNO

La descripción general del contenido del proyecto figura en el apartado 3.3. Justificación de la solución propuesta, y en el Capítulo 4 Ingeniería básica.

Las características principales del contenido del proyecto se contemplan en el 3.3. y Cap. 4, pero también en el siguiente apartado 8.2. Especificaciones de materiales y equipos, y en el anterior 7.2. Fichas técnicas de equipos presupuestados.

En este apartado, se realiza una síntesis de los aspectos legales y administrativos a tener en cuenta, complementaria a los apartados 3.5. Subvenciones y 3.6. Servidumbres.

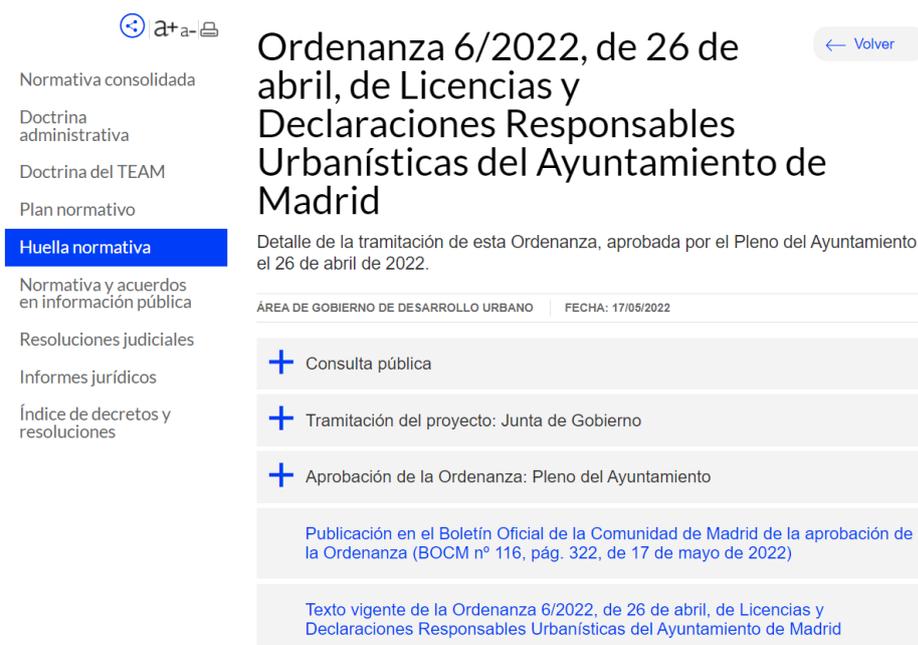
De la *Guía Básica de Redes de Distrito de Calor y de Frío* de la ADHAC, se cita:

La Administración pública ve unas ventajas globales en estos sistemas DHC:

- *Aparatos eficientes que reducen el impacto ambiental y el consumo del recurso energético.*
- *Gestión y mantenimiento centralizados que reducen el riesgo sanitario (legionelosis) y control de emisiones y, en general, control de impacto ambiental más eficiente.*
- *Posibilidad de uso de energías renovables y residuales y locales que, de otro modo, se malgastarían.*
- *Posibilidad de uso de refrigerantes no contaminantes (en caso de suministrar frío).*
- *Reducción del efecto de isla térmica urbana. Se entiende por isla térmica urbana el aumento de temperatura dentro de los espacios urbanos.*
- *Menor dependencia energética.*
- *Creación de puestos de trabajo.*

Obras

En primer lugar, la construcción del edificio ubicado en el solar o parcela de terreno anexionada al edificio del CPD que recibe el nombre Sala de máquinas, sólo podrá ejecutarse habiendo realizado previamente la solicitud de licencia de obra (que es una declaración responsable) al Ayuntamiento de Madrid, cuyo régimen general se encuentra recogido en la Ordenanza de Licencias y Declaraciones Responsables Urbanísticas del Ayuntamiento de Madrid (OLDRUAM, Ordenanza 6/2022, del 26 de abril). Se podrá y deberá consultar el estado de tramitación de la licencia de obra, por ejemplo en el BOE. Véase la ilustración 150.



The screenshot shows a web page from the Madrid City Council (Ayuntamiento de Madrid) detailing Ordinance 6/2022, dated April 26, regarding Licenses and Responsible Urbanistic Declarations. The page includes a navigation menu on the left with options like 'Normativa consolidada', 'Doctrina administrativa', and 'Huellas normativa' (highlighted). The main content area displays the title of the ordinance, a 'Volver' button, and a summary of the ordinance's approval by the Plenary of the City Council on April 26, 2022. Below this, there is a table with the following entries:

ÁREA DE GOBIERNO DE DESARROLLO URBANO	FECHA: 17/05/2022
+ Consulta pública	
+ Tramitación del proyecto: Junta de Gobierno	
+ Aprobación de la Ordenanza: Pleno del Ayuntamiento	
Publicación en el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid de la aprobación de la Ordenanza (BOCM nº 116, pág. 322, de 17 de mayo de 2022)	
Texto vigente de la Ordenanza 6/2022, de 26 de abril, de Licencias y Declaraciones Responsables Urbanísticas del Ayuntamiento de Madrid	

Ilustración 150 OLDRUAM. Fuente: Información jurídica <https://transparencia.madrid.es>

Además, se consultará la LOE (Ley 38/1999, del 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación), y por consiguiente también el CTE (Código Técnico de la Edificación), el cual se irá *completando en base a exigencias de otras normativas dictadas por las Administraciones competentes y se actualizará periódicamente conforme a la evolución de la técnica y la demanda de la sociedad*. Citando de la LOE, se añade:

Artículo 5. Licencias y autorizaciones administrativas.

La construcción de edificios, la realización de las obras que en ellos se ejecuten y su ocupación precisará las licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes, de conformidad con la normativa aplicable. Tal y como se ha explicado anteriormente.

Finalmente, mencionar el Capítulo II de la Ley 9/2017, de Contratos del Sector Público (desde los Artículos 12 al 27):

Artículo 12. Calificación de los contratos.

1. Los contratos de obras, concesión de obras, concesión de servicios, suministro y servicios que celebren las entidades pertenecientes al sector público se calificarán de acuerdo con las normas contenidas en la presente sección.

2. Los restantes contratos del sector público se calificarán según las normas de derecho administrativo o de derecho privado que les sean de aplicación.

Montaje/Instalaciones

Según el RITE (RD 1027/2007), Capítulo III Condiciones administrativas, se cita:

Artículo 15. Documentación técnica de diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas.

1. Las instalaciones térmicas incluidas en el ámbito de aplicación del RITE deben ejecutarse sobre la base de una documentación técnica que, en función de su importancia, debe adoptar una de las siguientes modalidades:

a) cuando la potencia térmica nominal a instalar en generación de calor o frío sea **mayor que 70 kW**, se requerirá la realización de un **proyecto***.

2. Cuando en un mismo edificio existan múltiples generadores de calor, frío, o de ambos tipos, la potencia térmica nominal de la instalación, a efectos de determinar la documentación técnica de diseño requerida, se obtendrá como **la suma de las potencias térmicas nominales de los generadores de calor o de los generadores de frío** necesarios para cubrir el servicio. (Esta potencia total de las máquinas de calor y las de frío figura en el apartado 4.3. Instalación fotovoltaica – Cálculos.)

***Proyecto:** Como inciso, se define en el Artículo 16. Proyecto.

1. Cuando se precise proyecto, éste debe ser redactado y firmado por técnico titulado competente. El proyectista será responsable de que el mismo se adapte a las exigencias del RITE y de cualquier otra reglamentación o normativa que pudiera ser de aplicación a la instalación proyectada.

3. El proyecto describirá la instalación térmica en su totalidad, sus características generales y la forma de ejecución de la misma, con el detalle suficiente para que pueda valorarse e interpretarse inequívocamente durante su ejecución. En el proyecto se incluirá la siguiente información:

a) Justificación de que las **soluciones propuestas cumplen las exigencias** de bienestar térmico e higiene, eficiencia energética y seguridad del RITE y demás normativa aplicable.

- b) Las **características técnicas mínimas que deben reunir los equipos y materiales** que conforman la instalación proyectada, así como sus condiciones de suministro y ejecución, las **garantías de calidad** y el **control de recepción en obra** que deba realizarse;
- c) Las **verificaciones y las pruebas** que deban efectuarse para realizar el control de la ejecución de la instalación y el control de la **instalación terminada**;
- d) Las instrucciones de **uso y mantenimiento** de acuerdo con las características específicas de la instalación, mediante la elaboración de un «Manual de Uso y Mantenimiento» que contendrá las instrucciones de seguridad, manejo y maniobra, así como los programas de funcionamiento, mantenimiento preventivo y gestión energética de la instalación proyectada, de acuerdo con la IT 3.
4. Para extender un **visado de un proyecto, los Colegios Profesionales** (por ejemplo, el COIIM) comprobarán que se cumple lo establecido en el apartado tercero de este artículo. Los organismos que, preceptivamente, extiendan visados técnicos sobre proyectos, comprobarán, además, que lo reseñado en dicho apartado se ajusta a este reglamento.

De acuerdo al RSIF (RD 552/2019):

Artículo 10. Empresas frigorista

La empresa frigorista dispone de la documentación que acredita la capacitación del personal afectado, de acuerdo con la normativa del país de establecimiento [...].

4. De acuerdo con el **artículo 14 de la Ley 39/2015**, de 1 de octubre, del **Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas**, la **presentación de la declaración responsable** y las relaciones de las empresas instaladoras con las Comunidades Autónomas serán **por medio electrónico**.

Un procedimiento ordenado de la documentación que se ha encontrado sobre la tramitación de la puesta en funcionamiento de una planta y sus instalaciones frigoríficas consta en la ilustración 151.

Puesta en funcionamiento de plantas e instalaciones frigoríficas

Tramitación | Documentación | Más información

 **Por internet**

- Solicitud 
- Certificado de instalación 
- Certificado de dirección de obra 
- Fotocopia del Poder del representante, en su caso.
- Justificante de pago de autoliquidación de tasa. 
- Proyecto de instalación.
- Memoria Técnica y/o Proyecto 
- Certificado de instalación eléctrica firmado por un instalador en baja tensión.
- Declaraciones de conformidad de los equipos a presión y, en su caso de los accesorios de seguridad o presión.
- Copia del contrato de mantenimiento con empresa mantenedora habilitada.
- Póliza del seguro de responsabilidad civil.
- Libro de registro de la instalación frigorífica.

La documentación a aportar deberá ser presentada en alguno de los [formatos de documentos aceptados](#).

Ilustración 151 Documentación para instalaciones frigoríficas. Sede electrónica de Canarias, como referencia.

Cada tipo de instalación se registra y legaliza en la Sede electrónica del Gobierno de España, se inscribe en el Ayuntamiento de Madrid, y se entrega entre otros certificados y seguros, el proyecto con aplicación directa de normativa vigente (que en el caso de instalaciones térmicas es el RITE, en el caso de instalaciones frigoríficas es el RITE y el RSIF, y en el caso de la energía eléctrica y la fotovoltaica es el REBT).

8.2. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS

En este apartado aparecerán definidos todos los equipos, materiales, máquinas, etc. que formen parte del proyecto. Se pide consultar el apartado 7.2. Fichas técnicas de los equipos presupuestados, para conocer los detalles particulares de dimensiones, peso, etc., referidos también al 4.4. District heating and cooling - Cálculos.

En el *Manual de operaciones e instrucciones* de la máquina de absorción modelo 16LJ 53, del fabricante Carrier, se insta a mantener la sala de máquinas a un rango de temperatura entre 5 y 40°C por seguridad, y una humedad del 90%. Asimismo, la máquina de absorción en su mantenimiento requerirá refrigerante purga, control de absorbentes y gestión de equipos, entre otros aspectos que un agente de servicios de Carrier sabrá realizar. El mantenimiento será anual.

En el *Manual de instalación, operación y mantenimiento* de la bomba de calor de alta temperatura BCHT modelo 61XWH-14ZE, del fabricante Carrier, se insta a los técnicos a entrar a la sala de máquinas para efectuar las operaciones de mantenimiento (recargas y reparaciones) con un equipamiento que involucre guantes, gafas, calzado, mono, y orejeras (todo de carácter protectorio), y en caso de realizar soldadura, filtro de respiración. Téngase en cuenta que el refrigerante R-1234ze(E) es más pesado que el aire. En la construcción de la sala de máquinas, dejar mínimo 1 m de altura entre la BCHT y el techo. Es importante recalcar que esta BCHT funciona en trifásica a 400 V y 50 Hz. La máxima temperatura que admite en su entorno es de 42°C. Tiene una vida útil de 20 años.

En el Manual de uso y mantenimiento de la enfriadora por compresión centrífuga modelo 19DV G42, del fabricante Carrier, se explica como en las anteriores máquinas el procedimiento desde la recepción de la máquina, el montaje de los soportes, la conexión de las tuberías de agua y operaciones de purgado del compresor, hasta la conexión eléctrica. Tiene una vida útil de 20 años también. Aporta consejos sobre cómo evitar posibles accidentes, por ejemplo en el párrafo: *Puede introducirse un ajuste de forzado en la PARADA de la enfriadora para evitar un arranque accidental durante el mantenimiento o cuando sea necesario.* O por ejemplo, en la revisión del mantenimiento menciona los requisitos: *paradas programadas, rutinarias y prolongadas, importancia de una hoja de registro, importancia del tratamiento de agua y de la limpieza de los tubos e importancia del mantenimiento de la estanqueidad de la enfriadora.*

A rasgos generales, en todos los equipos el fabricante da unos detallados esquemas y descripciones mínimas en control, prevención de accidentes, funcionamiento de las válvulas, filtros, sensores, circuitos, lubricación, evacuación, juntas, bridas, carcasas, parámetros, etc.

En primer lugar, se citará del REBT (RD 842/2002):

Artículo 6. Equipos y materiales.

En particular, se incluirán junto con los equipos y materiales las indicaciones necesarias para su correcta instalación y uso, debiendo marcarse con las siguientes indicaciones mínimas:

- a) Identificación del fabricante, representante legal o responsable de la comercialización.*
- b) Marca y modelo.*
- c) Tensión y potencia (o intensidad) asignadas.*
- d) Cualquier otra indicación referente al uso específico del material o equipo, asignado por el fabricante.*

2. Los órganos competentes de las Comunidades Autónomas verificarán el cumplimiento de las exigencias técnicas de los materiales y equipos sujetos a este Reglamento. La verificación podrá efectuarse por muestreo.

Se cita del RITE (RD 1027/2007) en su Capítulo III:

Artículo 18. Condiciones de los equipos y materiales.

*1. Los equipos y materiales cumplirán todas las **normas vigentes** y que les sean de aplicación, debiendo los que se incorporen con carácter permanente a los edificios, en función de su uso previsto, llevar el **marcado CE**, siempre que se haya establecido su entrada en vigor, de conformidad con la normativa vigente.*

Todos los productos deberán cumplir los requisitos establecidos en las medidas de ejecución que les resulten de aplicación de acuerdo con lo dispuesto en el Real Decreto 187/2011, de 18 de febrero, relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.

2. La certificación de conformidad de los equipos y materiales, con los reglamentos aplicables y con la legislación vigente, se realizará mediante los procedimientos establecidos en la normativa correspondiente.

*Se aceptarán las marcas, sellos, certificaciones de conformidad u otros distintivos de calidad voluntarios, legalmente concedidos en cualquier Estado miembro de la Unión Europea [...], siempre que se reconozca por la **Administración pública competente** que se garantizan un **nivel de seguridad** de las personas, los bienes o el medio ambiente, equivalente a las normas aplicables en España.*

*3. Se aceptarán, para su instalación y uso en los edificios sujetos a este reglamento, los **productos procedentes** de otros Estados miembros de la Unión Europea [...].*

Artículo 20. Recepción en obra de equipos y materiales.

a) El control de recepción tiene por objeto comprobar que las características técnicas de los **equipos y materiales suministrados** satisfacen lo exigido en el proyecto o memoria técnica mediante:

- i. Control de la documentación de los suministros;
- ii. control mediante distintivos de calidad, en los términos del artículo 18.3 de este Reglamento;
- iii. control mediante ensayos y pruebas.

c) El instalador habilitado o el director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva, deben **comprobar que los equipos y materiales recibidos**:

- i. Corresponden a los especificados en el pliego de condiciones del proyecto o en la memoria técnica;
- ii. disponen de la documentación exigida;
- iii. cumplen con las propiedades exigidas en el proyecto o memoria técnica;
- iv. han sido sometidos a los ensayos y pruebas exigidos por la normativa en vigor

Según el RSIF (RD 552/2019), del Capítulo I Disposiciones Generales se cita:

Artículo 2. Ámbito de aplicación.

1. Este Reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias IF se aplicarán a las instalaciones frigoríficas de nueva construcción, así como a las ampliaciones, modificaciones y mantenimiento de éstas y de las ya existentes.

2. No obstante, a las instalaciones y sistemas de refrigeración que a continuación se relacionan se les aplicará única y exclusivamente lo establecido en el artículo 21.6 del presente Reglamento: a) **Instalaciones por absorción que utilizan BrLi-Agua.**

3. Quedan **excluidas** del ámbito de aplicación de este Reglamento: b) Los **sistemas secundarios** utilizados en las instalaciones de climatización para condiciones de bienestar térmico de las personas en los edificios, que **se regirán** por lo dispuesto en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por **Real Decreto 1027/2007**, de 20 de julio.

Especificando en el Artículo 21.6 de aplicación a sistemas por absorción de BrLi-Agua, se citan:

Artículo 20. Diseño y ejecución de las Instalaciones frigoríficas.

1. Las instalaciones frigoríficas y los elementos, equipos y materiales que las integran deberán cumplir las prescripciones establecidas en el presente Reglamento y en aquella otra normativa que les sea aplicable, particularmente la relativa a máquinas, equipos a presión, prevención de fugas y los **criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis** (véanse el RD 865/2003 Anexo 4, y la Norma UNE 100030 IN).

- Los equipos compactos, sea cual sea el refrigerante que utilicen, deberán disponer, cuando sea de aplicación, de un **Certificado de Conformidad** (por ejemplo CE) como conjunto en relación con el Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.
- **Cualquier material empleado en la construcción de las instalaciones frigoríficas** deberá ser resistente a la acción de las sustancias con las que entre en contacto, de forma que **no pueda deteriorarse** en condiciones normales de utilización y, en especial, se tendrá en cuenta su resistencia a efectos de su fragilidad a baja temperatura (resiliencia).

Cuando se disponga de una **sala de máquinas para instalar partes del sistema frigorífico**, especialmente los **compresores** con sus componentes directos, se deberán cumplir los requisitos indicados en la Instrucción técnica complementaria **IF-07 Sala de Máquinas especiales, diseño y construcción**.

Artículo 21. Comunicación de instalaciones.

Una vez finalizada la instalación y realizadas las pruebas de idoneidad de la instalación con carácter previo a la puesta en servicio de la misma, el titular presentará, ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma, la siguiente documentación.

Para instalaciones de nivel 2:

- a) Proyecto de la instalación realmente ejecutada.
- b) Certificado técnico de dirección de obra.
- c) Certificado de la instalación suscrito por la empresa frigorista y el director de la instalación (de acuerdo con la IF-10).
- d) **Certificado de instalación eléctrica, que debe incluir la parte correspondiente a la instalación frigorífica**, firmado por un instalador en baja tensión o, en su defecto, informe emitido por la empresa instaladora de baja tensión en el cual se describa la instalación, indicando que la misma cumple los requisitos técnicos de la reglamentación vigente en el momento de la fecha de realización de la instalación y que se encuentra en perfecto estado de funcionamiento.

- e) **Declaraciones de conformidad de los equipos a presión y del sistema de tuberías de acuerdo con el Real Decreto 709/2015 y, en su caso, de los accesorios de seguridad o presión.***
- f) **Copia de la póliza del seguro de responsabilidad civil del titular de la instalación, cuando así esté establecido.***
- g) **Contrato de mantenimiento con una empresa instaladora frigorista.***
- h) **Declaraciones de conformidad CE de acuerdo con el Real Decreto 709/2015.***

*6. No será necesario presentar la documentación para [...] las instalaciones por absorción que utilizan BrLi-Agua, que deberán ser instaladas, mantenidas y reparadas por una empresa instaladora frigorista. En el caso de las **instalaciones por absorción con Br Li-Agua**, además, la empresa instaladora frigorista entregará la justificación documentada de la idoneidad de las soluciones adoptadas desde el punto de vista energético (solución con menor coste energético).*

En nuevas tuberías, deberá haber un libro de registro de la instalación, con las operaciones que se hayan realizado.

Como se mencionó, en la instrucción IF-07 Sala de máquinas especiales, diseño y construcción, del RSIF, se cita:

Los pasillos estarán despejados de cualquier elemento (como botellas y contenedores de refrigerantes) que impidan o dificulten la libre circulación del personal.

Las emisiones de gas refrigerante procedentes de estas salas de máquinas deberán poder ser evacuadas sin ningún riesgo (ej.: por un desagüe).

Fuera de la sala de máquinas específica (cerca de su puerta de entrada) y en el interior en emplazamiento adecuado, se deberá instalar un interruptor de emergencia que permita parar el sistema de refrigeración.

Se deberá proveer de un sistema de ventilación natural o forzada.

Toda red de tuberías y conductos que pasen a través de paredes, techos y suelos de salas de máquinas específicas deberá estar herméticamente sellada.

Cada sala de máquinas específica deberá disponer, como mínimo, de dos extintores portátiles de polvo polivalentes, uno de ellos situado junto a la puerta de salida y el otro en el otro extremo de la sala. (Consulte el CTE-DB-SI para profundizar en Protección contra incendios.)

Sólo para completar todo lo relativo a Sala de máquinas, el RITE establece en su instrucción técnica IT 1.3.4.1.2 Salas de máquinas:

*Los elementos de **cerramiento** de la sala **no permitirán filtraciones de humedad**.*

*La sala dispondrá de un eficaz sistema de **desagüe por gravedad**.*

*El **cuadro eléctrico de protección y mando** de los equipos instalados en la sala o, por lo menos, el interruptor general estará situado en las proximidades de la puerta principal de acceso. Este interruptor no podrá cortar la alimentación al sistema de ventilación de la sala.*

*El **nivel de iluminación medio** en servicio de la sala de máquinas será suficiente para realizar los trabajos de conducción e **inspección**, como mínimo, **de 200 lux, con una uniformidad media de 0,5**.*

En el interior de la sala de máquinas figurarán, visibles y debidamente protegidas, las indicaciones siguientes:

- i. instrucciones para efectuar la parada de la instalación en caso necesario, con señal de alarma de urgencia y dispositivo de corte rápido;*
- ii. el nombre, dirección y número de teléfono de la entidad mantenedora;*
- iii. la dirección y número de teléfono del servicio de bomberos más próximo, y del responsable del edificio;*
- iv. indicación de los puestos de extinción y extintores cercanos;*
- v. Plano con Esquema de Principio de la instalación.*

IT.1.3.4.1.2.6 Dimensiones de las salas de máquinas

2. La altura mínima de la sala será de 2,50 m; respetándose una altura libre de tuberías y obstáculos sobre las máquinas de 0,5 m.

IT 1.3.4.1.2.7 Ventilación de salas de máquinas

Toda sala de máquinas cerrada debe disponer de medios suficientes de ventilación.

El sistema de ventilación podrá ser del tipo: natural directa por orificios o conductos, o forzada.

Se recomienda adoptar, para mayor garantía de funcionamiento, el sistema de ventilación directa por orificios.

*1.4 En cualquier caso, **se intentará lograr, siempre que sea posible, una ventilación cruzada, colocando las aberturas sobre paredes opuestas de la sala (para favorecer el barrido de la sala) y en las cercanías del techo y del suelo.***

2. Ventilación natural directa por orificios

*2.1 La ventilación natural directa al exterior puede realizarse, **para las salas contiguas a zonas al aire libre, mediante aberturas de área libre mínima de 5 cm²/kW de potencia térmica nominal.***

Artículo 25. Fin de vida y desmantelamiento de la instalación (previsto en 2074)

1. El desmantelamiento de una instalación frigorífica deberá ser realizado por una empresa frigorista y los **residuos generados deberán ser entregados a un gestor de residuos**.
2. Con carácter previo al desmantelamiento, **el titular de la instalación deberá comunicar al órgano competente de la Comunidad Autónoma la fecha** prevista para el comienzo y fin de las operaciones de desmantelamiento, el nombre de la empresa frigorista que lo llevará a cabo y del gestor de residuos y las **actuaciones previstas de tratamiento ambiental** de los residuos generados y de **descontaminación**.
3. Finalizado el desmantelamiento, la **empresa frigorista emitirá un certificado** de su correcta ejecución que entregará al titular de la instalación a fin de que éste proceda a **solicitar la baja**, a la Comunidad Autónoma en la que radique la instalación, en los registros que procedan.

Por su parte, la alimentación eléctrica será tal y como marca el REBT (RD 842/2002):

Artículo 10. Tipos de suministro.

- A) **Suministros normales** son los efectuados a cada abonado por una sola empresa distribuidora por la **totalidad de la potencia contratada por el mismo y con un solo punto de entrega de la energía**.
- B) **Suministros complementarios o de seguridad** son los que, a efectos de seguridad y **continuidad** de suministro, complementan a un suministro normal. Es aquel que, aun partiendo del mismo transformador, dispone de línea de distribución independiente del suministro normal desde su mismo origen en baja tensión. Se clasifican en suministro de socorro, suministro de reserva y suministro duplicado.

Artículo 15. Acometidas e instalaciones de enlace.

1. Se denomina **acometida** a la parte de la instalación de la red de distribución que **alimenta la caja o cajas generales de protección o unidad funcional equivalente**. La acometida será responsabilidad de la **empresa suministradora**, que asumirá la inspección y verificación final.
2. Son **instalaciones de enlace** las que **unen la caja general de protección**, o cajas generales de protección, con las **instalaciones interiores o receptoras del usuario**. Se componen de: caja general de protección, línea general de alimentación, elementos para la ubicación de contadores, derivación individual, caja para interruptor de control de potencia y dispositivos generales de mando y protección.

- *Las cajas generales de protección (CGP) alojan elementos de protección de las líneas generales de alimentación y señalan el principio de la propiedad de las instalaciones de los usuarios.*
- *La caja de protección y medida (CPM) contiene los fusibles y los equipos de medida.*
- *La línea general de alimentación (LGA) es la parte de la instalación que enlaza una caja general de protección con las derivaciones individuales que alimenta. Al haber un contador eléctrico en un solo edificio, no hay LGA, sólo acometida desde el centro de transformación (trafos) de la compañía (por ejemplo, Iberdrola), CPM y DI.*
- *La derivación individual (DI) de un abonado parte de la línea general de alimentación y comprende los aparatos de medida, mando y protección.*

3. Las compañías suministradoras facilitarán los valores máximos previsibles de las potencias o corrientes de cortocircuito de sus redes de distribución, con el fin de que el proyectista tenga en cuenta este dato en sus cálculos.

Como se trata de un usuario (un solo edificio de sala de máquinas), la caída de tensión en las instalaciones de enlace, la derivación individual que va desde la CPM hasta el edificio, será de 1,5%. El propio edificio (receptor) siempre tendrá un 3% de caída.

Acorde a la instrucción IF-08 Protección de instalaciones contra sobrepresiones del RSIF:

3.4.2.3. Fallo de alimentación eléctrica.

Después de una parada por fallo de corriente, deberá impedirse el arranque automático si este resultase peligroso. Si el corte de corriente afectara al dispositivo de seguridad limitador de presión o al microprocesador/ordenador, siempre que éste interviniera en la cadena de seguridad, deberá ser desconectado el compresor.

8.3. ESPECIFICACIONES DE EJECUCIÓN

En este apartado se definirá la ejecución del proyecto a partir de las condiciones del punto anterior.

Obra

Citando de la LOE (Ley 38/1999, del 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación) los artículos más relevantes:

Artículo 6. Recepción de la obra.

1. La recepción de la **obra** es el acto por el cual el **constructor**, una vez concluida ésta, hace entrega de la misma al **promotor** y es aceptada por éste.

2. La recepción deberá consignarse en un **acta firmada**, al menos, por el promotor y el constructor, y en la misma se hará constar: las partes que intervienen, la fecha del certificado final de la obra o la fase completada, el coste final de la ejecución material de la obra, la declaración de la recepción de la obra, especificando el plazo en que deberán quedar **subsanaos los defectos** observados (tras lo cual se hará constar en un **acta aparte**, suscrita por los firmantes de la recepción), las garantías que se exijan al constructor para asegurar sus responsabilidades.

Y se adjuntará el **certificado final de obra** suscrito por el **director de obra** y el **director de la ejecución de la obra**.

La recepción de la obra tendrá lugar dentro de los treinta días siguientes a la fecha de su terminación (plazo que se contará a partir de la notificación efectuada por escrito al promotor), acreditada en dicho certificado final de obra.

Artículo 7. Documentación de la obra ejecutada.

Una vez finalizada la obra, el **proyecto será facilitado al promotor por el director de obra** para la formalización de los correspondientes **trámites administrativos**. A dicha documentación se adjuntará, al menos, el **acta de recepción**, la relación identificativa de los **agentes** que han intervenido durante el proceso de edificación (es decir, los **stakeholders** o interesados: promotor, proyectista, constructor, director de obra, director de la ejecución, entidades de calidad de la edificación, proveedores, etc.), así como la relativa a **las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones**, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación. Finalmente, se elaborará un Libro del Edificio, (que según el CTE-DB-HE, incluye la documentación referente a las características de los productos, equipos y sistemas incorporados a la obra).

Para la ejecución, debido a que el edificio de sala de máquinas sólo tendrá envolvente (no térmica necesariamente) constructiva, y no consumo propio de instalaciones para calefactarlo o refrigerarlo (se verá más adelante su ventilación), simplemente alojará las máquinas que sí consumen para sí mismas, se ha consultado la norma CTE-DB-HE, exigencia técnica *HE-1 Condiciones para el control de la demanda energética*.

En cuanto a la ventilación de la sala de máquinas, se puede consultar el CTE-DB-HS de salubridad, exigencia técnica *HS-3 Calidad del aire interior*. En la Caracterización y cuantificación de esta exigencia, se citan los párrafos relacionados con el uso de una sala de máquinas (local no habitable):

*Para los locales no habitables incluidos en el ámbito de aplicación **debe aportarse al menos el caudal de aire exterior suficiente para eliminar los contaminantes propios del uso de cada local**. En el caso de trasteros, sus zonas comunes y almacenes de residuos los contaminantes principales son la humedad, los olores y los compuestos orgánicos volátiles. En el caso de los aparcamientos y garajes son el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. (En el caso de la sala de máquinas a compresión, serán los refrigerantes, que serán especificados más adelante.)*

Esta condición se considera satisfecha si el sistema de ventilación es capaz de establecer unos caudales de ventilación mínimos, con aberturas de admisión y extracción (sean mixtas o de paso) para comunicar directamente con el exterior. La separación vertical entre las mismas debe ser como mínimo 1,5 m, máximo 15 m entre sí.

Para especificar a sala de máquinas y consultar una forma de ventilación más conservadora o restrictiva que el CTE-HS3, según la clase de refrigerante, se consulta el RSIF (RD 552/2019) para conocer cómo se clasificará la sala de máquinas de este proyecto:

3. Dimensiones y accesibilidad. (de la IF-07)

Deberán preverse pasarelas y escaleras especiales para el montaje, funcionamiento, mantenimiento y revisión del sistema, de forma que se evite andar sobre las tuberías, conexiones, soportes, estructuras de sujeción y otros componentes.

Deberá existir una altura libre, de al menos 2,3 m, bajo los componentes situados sobre accesos y lugares de trabajo permanentes.

4. Puertas y paredes.

Las salas de máquinas específicas deberán tener puertas que se abran hacia afuera, en un número suficiente para asegurar, en caso de emergencia, una evacuación rápida del personal. Las puertas se deberán fabricar de tal manera que se puedan abrir desde dentro (sistema antipánico). Las puertas se deberán cerrar solas, de forma automática, si proporcionan acceso directo al edificio. No existirán aberturas que permitan el paso accidental de refrigerante, vapores, olores y de cualquier otro gas que se escape hacia otras partes del edificio.

Las salas de máquinas específicas deberán realizarse con cerramientos (incluidas las puertas) cuyas características relativas a materiales, espesores y ejecución cumplan con el Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos industriales aprobado por Real Decreto 2267/2004, el Código Técnico de la Edificación de 2006, y la ordenanza municipal relativa a la amortiguación del nivel sonoro.

Artículo 6. Clasificación de los sistemas de refrigeración.

2. Atendiendo a criterios de seguridad, los sistemas de refrigeración se clasifican en los siguientes tipos, según cuál sea su emplazamiento:

Tipo 4: Sistema de refrigeración en el que todas las partes que contienen refrigerante están **situadas en el interior de una envolvente ventilada**. Por ir los equipos ubicados dentro de una sala de máquinas, configuran la misma instalación frigorífica.

Artículo 7. Clasificación de los locales según su accesibilidad.

Categoría C. Acceso autorizado: Habitaciones, recintos o construcciones a los que solo tienen acceso personas autorizadas, que conozca las **precauciones de seguridad** generales y específicas del establecimiento, principalmente ubicación de salidas de emergencia y zonas de paso, y en los que se desarrollan actividades de fabricación, procesamiento o almacenamiento de materiales o productos.

Artículo 8. Clasificación de las instalaciones frigoríficas.

Las instalaciones frigoríficas se clasifican en función del riesgo potencial en las categorías siguientes:

Nivel 2. Instalaciones formadas por uno o varios sistemas frigoríficos independientes entre sí con una potencia eléctrica instalada en los compresores superior a 30 kW en alguno de los sistemas, o que la **suma total de las potencias eléctricas instaladas en los compresores**

frigoríficos exceda de 100 kW, o que enfríen cámaras de atmósfera artificial, o que utilicen refrigerantes de media y baja seguridad (L2 y L3).

5. Ventilación.

Los fluidos refrigerantes pueden ser más pesados o más ligeros que el aire.

- *Para aquellos más pesados, al menos el 50% del volumen de aire que se está renovando, se tomará de los puntos más bajos de la sala de máquinas específica y la entrada de aire exterior estará situada en el punto más alto.*
- *Para aquellos más ligeros que el aire, el volumen que se renueva saldrá de los puntos más altos de la sala de máquinas, por lo que la entrada de aire exterior se situará cerca del punto más bajo de la misma.*

El caudal de aire máximo no necesitará ser superior a las 15 renovaciones/hora, ni podrá ser inferior a 6 renovaciones/hora.

5.2.2 Presiones de diseño mínimas.

Para refrigerantes con $PCA > 1$, se podrá adoptar una presión de diseño (PS) igual o superior a 1.5 veces la presión de funcionamiento prevista en las condiciones de diseño de la planta.

4.3 Advertencia del sistema de alarma.

El sistema de alarma avisará de forma audible y visible, como un zumbador fuerte (15 dB(A) por encima del nivel de fondo) y una luz intermitente.

Se cita además de la *Guía Básica de Redes de Distrito de Calor y de Frío* de la ADHAC:

Para generar energía térmica en forma de frío, lo más común es la refrigeradora por compresión que se alimenta mediante energía eléctrica. Existe la posibilidad de utilizar sistemas por absorción y adsorción alimentados por fuentes de calor externas. La integración de esta tecnología es adecuada en sistemas en los que la generación de calor se produce mediante una fuente residual como los calores residuales.

Los conductos de las redes de DH/DC están formados por dos tuberías, una de impulsión y una de retorno. La extensión del sistema y el número de ramificaciones dependen de la situación de la planta de producción de energía, del número y distribución de los usuarios, de las

pérdidas de energía en la red. Una distribución de la red inadecuada puede llegar a comprometer la rentabilidad económica del proyecto.

*Una característica importante de las tuberías es el aislamiento ya que deben **reducirse al máximo posible las pérdidas de calor por distribución**. Normalmente, se utilizan **tuberías preaisladas** que evitan problemas en la instalación defectuosa del aislante. Naturalmente, la red DH&C se compone de una red troncal, ramales y acometidas hasta cada subestación por edificio. Las tuberías principales (los ramales) suelen seguir la dirección de las calles o carreteras. Los elementos de las tuberías (d impulsión y retorno):*

- **Accesorios** de las tuberías (codos, T, etc.). Estos elementos dependen del trazado de la red, que debe procurarse sea el más simple posible. Se han considerado un 30% sobre la longitud real.
- **Detentores, válvula de regulación y bypass**. La función de los detentores es la de aislar cualquier elemento añadido a la instalación. Si bien sería interesante un detentor en cada ramificación, el sobrecoste que esto implica conlleva valorar el interés o utilidad del aislamiento de un sector de red en un momento determinado. **Todas las subestaciones incorporarán detentores y elementos intermedios en la instalación. Las válvulas de regulación están en los puntos requeridos, como en las subestaciones o en las entradas de edificios conectados a la red. Todos los elementos deberán resistir la presión y la temperatura de diseño de la red, y se dimensionarán de manera que la caída de presión producida por el elemento sea la adecuada de acuerdo con los condicionantes del proyecto.**
- **Aireadores y drenajes**. Puesto que se trata de un **circuito cerrado**, deberá disponer de elementos de aireamiento y **purga para extraer todo el aire**. También se dispondrá de **elementos de vaciado y filtraje**.
- **Bridas y fijaciones**. Las tuberías deberán estar fijadas en función de sus posiciones, en caso de disponerlas en conductos o galerías.
- **Compensadores**. Las **tuberías de grandes dimensiones**, de redes de transmisión, generalmente son de **acero preaislado con espuma de poliuretano**. Para redes de DH a temperaturas bajas (70 °C) pueden ser de polietileno reticulado preaislado. **Las variaciones de temperatura provocan la expansión-contracción de las tuberías y pueden generar tensiones radiales y longitudinales. Para absorber las tensiones, hay que colocar compensadores (elementos que se deforman con las variaciones de temperatura) o codos.**
- **Detección de fugas**: Se debe disponer de sistemas capaces de detectar posibles fugas **de agua** tanto en las tuberías hacia el exterior, debido a un **defecto** en las mismas, como desde el terreno hasta las tuberías por **fisuras** o problemas en la protección.

*Una fuga desde el terreno hacia las tuberías provoca un defecto de aislamiento ya que, en caso de que este **se moje o coja humedad**, disminuye la capacidad de aislamiento. El sistema de **detección consiste en conductores eléctricos incrustados en el aislamiento de la tubería que, en caso de humedad, detectan una diferencia de potencial.***

- *Sistemas de bombeo: Hay varias maneras de **regular el caudal que circula por una red de tuberías**, y la elección de un sistema u otro depende de muchos factores, como por ejemplo: el tipo de caudales con los que se pretende trabajar, el coste de la instalación, la eficiencia, la rapidez de maniobra o el mantenimiento, entre otros. Los sistemas para regular el caudal pueden ser válvulas de estrangulamiento, bypass en el grupo de bombeo o **bombas de velocidad variable**. Este último método es el más **caro** de implantar, pero también **el más eficiente energéticamente y económicamente**. Estos sistemas **trabajan a una temperatura de impulsión fija y varían el caudal en función de la temperatura de retorno de la red**. A una bomba circuladora de la red DHC se le llama centralizada.*

La **acometida a los clientes y la subestación** consisten en la **unión** del sistema de distribución de la energía, la **red, con los consumidores (edificios o instalaciones)**.

- *Las **acometidas** son las **tuberías de conexión entre la red y la subestación** del cliente, que generalmente **entran al edificio del cliente por debajo del nivel de la calle**.*
- *Las **subestaciones** **adecúan la presión y la temperatura de la red** de distribución **a las condiciones necesarias** a la demanda de cada **edificio**, y **garantizan los saltos térmicos más adecuados para una buena eficiencia del sistema**. Las subestaciones consisten en:*

 - *un equipo de regulación y control*
 - *un equipo de recuento*
 - *y, en función del tipo de subestación, también se dispone de equipos de intercambio o de almacenaje.*

Existen principalmente dos tipos de subestaciones:

- *las de **conexión directa**, con las que no hay una diferenciación entre el circuito de la red y el circuito del usuario,*
- *y las de **conexión indirecta**, en las que se separa la red de la instalación interior, donde generalmente **la separación se realiza mediante un intercambiador de calor.***

*Debe presuponerse que **el sistema de ACS del usuario siempre será un circuito independiente de la red**, puesto que debe cumplir unas condiciones higiénicas especiales.*

Todas las acometidas a los clientes deben disponer de contadores de energía térmica.

En el RITE (RD 1027/2007), se cita de su Capítulo IV Condiciones para la ejecución de las instalaciones térmicas, aquellos artículos relacionados con la ejecución:

Artículo 19. Generalidades.

1. **La ejecución de las instalaciones sujetas a este RITE se realizará por empresas instaladoras habilitadas.**
2. *La ejecución de las instalaciones térmicas que requiera la realización de un proyecto, de acuerdo con el artículo 15 (citado en el apartado 8.1. Condiciones generales de contorno de este TFM), debe efectuarse bajo la **dirección de un técnico titulado competente, en funciones de director de la instalación.***
3. *La ejecución de las instalaciones térmicas se llevará a cabo con sujeción al proyecto o memoria técnica, según corresponda, y se ajustará a la normativa vigente y a **las normas de la buena práctica** (como son las NTPs, Notas Técnicas de Prevención).*
4. *Las preinstalaciones, entendidas como instalaciones especificadas pero no montadas parcial o totalmente, deben ser ejecutadas de acuerdo al proyecto o memoria técnica que las diseñó y dimensionó.*
5. *Las modificaciones que se pudieran realizar al proyecto o memoria técnica **se autorizarán y documentarán**, por el instalador habilitado o el director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva.*
6. *El instalador habilitado o el director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva, realizarán los controles relativos a:*
 - a) **Control de la recepción en obra de equipos y materiales.**
 - b) **Control de la ejecución de la instalación.**
 - c) **Control de la instalación terminada.**

Artículo 21. Control de la ejecución de la instalación.

1. *El control de la ejecución de las instalaciones se realizará de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto o memoria técnica, y las modificaciones autorizadas por el instalador habilitado o el director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva.*
2. *Se comprobará que la ejecución de la obra se realiza de acuerdo con los controles establecidos en el pliego de condiciones técnicas.*
3. *Cualquier modificación o replanteo a la instalación que pudiera introducirse durante la ejecución de su obra, debe ser reflejada en la documentación de la obra.*

Artículo 22. Control de la instalación terminada.

1. En la instalación terminada, bien sobre la instalación en su conjunto o bien sobre sus diferentes partes, deben realizarse las **comprobaciones y pruebas de servicio previstas** en el proyecto o memoria técnica u ordenadas **por el instalador habilitado o el director de la instalación**, cuando la participación de este último sea preceptiva, las previstas en la Instrucción Técnica 2 de este reglamento y las exigidas por la normativa vigente.
2. **Las pruebas de la instalación se efectuarán por la empresa instaladora, que dispondrá de los medios humanos y materiales necesarios** para efectuar las pruebas parciales y finales de la instalación, de acuerdo a los requisitos de la IT 2.
3. Todas las pruebas se efectuarán en presencia del instalador habilitado o del director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva, quien debe dar su conformidad tanto al procedimiento seguido como a los resultados obtenidos.
4. **Los resultados de las distintas pruebas realizadas a cada uno de los equipos, aparatos o subsistemas, pasarán a formar parte de la documentación final de la instalación.**
5. Cuando para extender el certificado de la instalación sea necesario disponer de energía para realizar pruebas, se solicitará, a la empresa suministradora de energía un suministro provisional para pruebas por el instalador habilitado o por el director de la instalación a los que se refiere este reglamento, y bajo su responsabilidad.

Artículo 23. Certificado de la instalación.

1. Una vez **finalizada la instalación, realizadas las pruebas de puesta en servicio** de la instalación que se especifica en la Instrucción Técnica 2 de este reglamento, **con resultado satisfactorio, el instalador habilitado y el director de la instalación**, cuando la participación de este último sea preceptiva, suscribirán el **certificado de la instalación**.
2. El certificado, según modelo establecido por el **órgano competente de la Comunidad Autónoma**, tendrá como mínimo el contenido siguiente:
 - a) identificación y datos referentes a sus principales características técnicas de la instalación realmente ejecutada;
 - b) identificación de la empresa instaladora, instalador habilitado con carné profesional y del director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva;
 - c) los resultados de las pruebas de puesta en servicio realizadas de acuerdo con la IT 2;
 - d) declaración expresa de que la instalación ha sido ejecutada de acuerdo con el proyecto o memoria técnica y de que cumple con los requisitos exigidos por el RITE.

Artículo 24. Puesta en servicio de la instalación.

El **titular** o usuario de la instalación deberá **conservar la documentación** de la reforma de acuerdo con lo establecido en el **artículo 25.5.c)**. Dicha documentación comprenderá como mínimo la factura de adquisición del generador y de su instalación, salvo que concurren otros reglamentos de seguridad industrial que requieran certificación de la actuación, en cuyo caso bastará la certificación exigida por tales reglamentos.

Con lo cual, del mismo RITE (RD 1027/2007), se cita de su Capítulo VI Condiciones para el uso y mantenimiento de la instalación:

Artículo 25. Titulares y usuarios.

5. El titular de la instalación será responsable de que se realicen las siguientes acciones:

- a) El mantenimiento de la instalación térmica por una empresa mantenedora habilitada.
- b) Las inspecciones obligatorias.
- c) La **conservación de la documentación** de todas las actuaciones, ya sean de mantenimiento, reparación, reforma o inspecciones realizadas en la instalación térmica o sus equipos, consignándolas en el Libro del Edificio, cuando el mismo exista.

Artículo 26. Mantenimiento de las instalaciones.

b) Instalaciones térmicas con potencia térmica nominal total instalada en generación de calor o frío mayor que 70 kW.

Estas instalaciones se mantendrán por una empresa mantenedora con la que el titular de la instalación térmica debe suscribir un contrato de mantenimiento, realizando su mantenimiento de acuerdo con las instrucciones contenidas en el «Manual de Uso y Mantenimiento» (que en este proyecto, lo ha adjuntado el fabricante para cada equipo, máquina y elemento instalado).

Después, se irán registrando en la documentación las operaciones de mantenimiento, se acreditará anualmente (porque el **Certificado de mantenimiento tiene validez de un año**).

Nota: Consúltese el Manual de Mantenimiento de Instalaciones Fotovoltaicas conectadas a Red, de Manuel García López, 2010, PROGNSA.

Finalmente, en el RITE, Capítulo VII Inspección, viene expresado:

Artículo 29. Generalidades.

1. *Las instalaciones térmicas se inspeccionarán con el fin de verificar el cumplimiento reglamentario.*
2. *Los órganos competentes de la Comunidad Autónoma adoptarán las medidas necesarias para la realización de las inspecciones periódicas previstas en este Reglamento.*
3. *Las instalaciones se inspeccionarán por personal de los servicios de los órganos competentes de las Comunidades autónomas o por organismos de control habilitados para este campo reglamentario, o bien por entidades o agentes cualificados o acreditados [...].*
5. *Periódicamente los órganos competentes de las Comunidades Autónomas pondrá a disposición del público listados actualizados de expertos cualificados o acreditados o de empresas o entidades acreditadas que ofrezcan los servicios de expertos de ese tipo para la realización de las inspecciones periódicas de las instalaciones térmicas. Estos listados deberán incluir mención expresa de que podrán realizarse también por aquellos incluidos en los listados [...].*

Para más información de las inspecciones, se consultarán los Artículos 30, 31, 32, y 33.

Capítulo 9. PRESUPUESTO

El Presupuesto supone la evaluación económica total del proyecto. Incluye el coste de los materiales, de la mano de obra, y los honorarios propios. Se compone de mediciones, importes, las características más relevantes de calidad y el recuento final.

En orden de general a particular, consta de: capítulos (títulos), partidas de los equipos, descompuestos (conceptos) y mediciones (cantidades), e importes. Se incluyen además los gastos relativos a honorarios, salarios, tiempos de desplazamiento, medios de transporte, coste de las herramientas de la mano de obra, todo el tiempo que dure la ejecución hasta el cierre del proyecto.

**PRESUPUESTO
RED DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN URBANA**

CANT.	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
GENERADORES DE FRÍO Y CALOR			
1	<p>Ud. Enfriadora de agua con condensación por agua de las siguientes características:</p> <p>Marca CARRIER Modelo 19DV-G42G42462AD9 Potencia frigorífica 2063 kW Compresor Centrifugo Nº etapas parcialización 4 Temperaturas agua fría 11,25 / 6°C Temperaturas agua caliente 27,99 / 23,67°C Caudal en el condensador 127,5 L/s Refrigerante R-1233zd Carga de refrigerante 579 kg Potencia absorbida 234,9 kW COP 8,78 Peso en operación 19.288 kg</p> <p>incluso cuadro eléctrico, regulación electrónica de la temperatura de agua fría, soportes antivibratorios, conexionado hidráulico y eléctrico, y puesta en marcha.</p>	479.820,00	479.820,00
2	<p>Ud. Bomba de calor de alta temperatura con condensación por agua, de las siguientes características:</p> <p>Marca CARRIER Modelo 61XWH-14ZE Potencia frigorífica 793 kW Potencia calorífica 1369 kW Compresor Tornillo con velocidad variable Temperaturas agua fría 20 / 15°C Temperaturas agua caliente ... 85 / 70°C Caudal de agua fría 38 L/s Caudal de agua caliente..... 22,3 L/s Refrigerante R-1234ze Carga de refrigerante 330 kg Potencia absorbida 606 kW COP 2,26 Peso en operación 8.031 kg</p> <p>incluso cuadro eléctrico, regulación electrónica de la temperatura de agua fría, soportes antivibratorios, conexionado hidráulico y eléctrico, y puesta en marcha.</p>	311.230,00	622.460,00

Ilustración 152 Presupuesto hoja 1. Elaboración propia en Excel.

<p>2 Ud. Enfriadora de agua por absorción, de las siguientes características:</p> <p>Marca CARRIER-SANYO Modelo 16LJ 53 Potencia frigorífica 1.846 kW Potencia disipada..... 4.484 kW Potencia agua caliente..... 2.746 kW Temperaturas agua fría 12,2 / 6,7°C Temp agua disipación 29,4 / 38,4°C Temperat agua caliente 85 / 76°C Caudal de agua fría 79,5 L/s Caudal de disipación 119,2 L/s Caudal de agua caliente 73 L/s Refrigerante R-718 (Agua) Absorbente BrLi Potencia absorbida 4,14 kW Peso en operación..... 21.100 kg</p> <p>incluso cuadro eléctrico, regulación electrónica de la temperatura de agua fría, soportes antivibratorios, conexionado hidráulico y eléctrico, y puesta en marcha.</p>	<p>266.840,00 533.680,00</p>
<p>2 Ud. Torre de refrigeración para disipación de calor de máquina de absorción, de las siguientes características:</p> <p>Marca EWK Modelo 1800/09 Potencia disipada..... 4.186 kW Temp agua disipación 38,4 / 29,4°C Caudal de disipación 119,2 L/s Potencia absorbida 23 kW Peso en operación..... 13.000 kg</p> <p>incluso soportes antivibratorios, conexionado hidráulico y eléctrico, y puesta en marcha.</p>	<p>97.530,00 195.060,00</p>
<p>TOTAL GENERADORES DE FRÍO Y CALOR</p>	<p>1.831.020,00</p>

Ilustración 153 Presupuesto hoja 2. Elaboración propia en Excel.

BOMBAS CIRCULADORAS

2	Uds. Bomba circuladora de rotor seco, para circuito de calor de la red DHC, de las siguientes características:		
	Marca GRUNDFOS		
	Modelo NBG 250-200-450/455 AASF2AESBAQEYW3		
	Caudal 407 m3/h		
	Presión 49,61 m.c.a.		
	Potencia absorbida 160 kW		
	Velocidad de giro 1.490 rpm		
	Alimentación 400/III/50		
	incluso contrabridas, juntas, tornillos, soportes antivibratorios y conexionado hidráulico y eléctrico.	30.211,00	60.422,00
2	Uds. Bomba circuladora de rotor seco, para circuito de frío de la red DHC, de las siguientes características:		
	Marca GRUNDFOS		
	Modelo NBG 250-200-450/455 AASF2AESBAQEYW3		
	Caudal 407 m3/h		
	Presión 49,61 m.c.a.		
	Potencia absorbida 160 kW		
	Velocidad de giro 1.490 rpm		
	Alimentación 400/III/50		
	incluso contrabridas, juntas, tornillos, soportes antivibratorios y conexionado hidráulico y eléctrico.	30.211,00	60.422,00
2	Uds. Bomba circuladora de rotor seco, para circuito de agua caliente de la BCHT, de las siguientes características:		
	Marca GRUNDFOS		
	Modelo NB 80-160/177 AAF2AESBQQEIW3		
	Caudal 203 m3/h		
	Presión 5,4 m.c.a.		
	Potencia absorbida 2,2 kW		
	Velocidad de giro 1.175 rpm		
	Alimentación 400/III/50		
	incluso contrabridas, juntas, tornillos, soportes antivibratorios y conexionado hidráulico y eléctrico.	4.606,00	9.212,00
2	Uds. Bomba circuladora de rotor seco, para circuito de agua fría de la BCHT, de las siguientes características:		
	Marca GRUNDFOS		
	Modelo NBE 100-160/176 BAF2AESBQQEKWA		
	Caudal 95 m3/h		
	Presión 5,5 m.c.a.		
	Potencia absorbida 4 kW		
	Velocidad de giro 1.385 rpm		
	Alimentación 400/III/50		

Ilustración 154 Presupuesto hoja 3. Elaboración propia en Excel.

	incluso contrabridas, juntas, tornillos, soportes antivibratorios y conexionado hidráulico y eléctrico.	7.473,00	14.946,00
1	Uds. Bomba circuladora de rotor seco, para circuito de condensación de la chiller, de las siguientes características: Marca GRUNDFOS Modelo NB 150-315/322 AAF1AESBQQEPW5 Caudal 285 m3/h Presión 8,3 m.c.a. Potencia absorbida 18,5 kW Velocidad de giro 978 rpm Alimentación 400/III/50		
	incluso contrabridas, juntas, tornillos, soportes antivibratorios y conexionado hidráulico y eléctrico.	17.484,00	17.484,00
2	Uds. Bomba circuladora de rotor seco, para circuito primario de máquina de absorción, de las siguientes características: Marca GRUNDFOS Modelo NB 150-250/252 BAF1AESBQQEMW5 Caudal 204 m3/h Presión 6,3 m.c.a. Potencia absorbida 7,5 kW Velocidad de giro 985 rpm Alimentación 400/III/50		
	incluso contrabridas, juntas, tornillos, soportes antivibratorios y conexionado hidráulico y eléctrico.	12.177,00	24.354,00
2	Uds. Bomba circuladora de rotor seco, para circuito de torre de máquina de absorción, de las siguientes características: Marca GRUNDFOS Modelo NB 150-315.2/250 AAF1AESBQQEQW3 Caudal 551 m3/h Presión 14,2 m.c.a. Potencia absorbida 22 kW Velocidad de giro 1470 rpm Alimentación 400/III/50		
	incluso contrabridas, juntas, tornillos, soportes antivibratorios y conexionado hidráulico y eléctrico.	17.290,00	34.580,00
	TOTAL BOMBAS ACELERADORAS		221.420,00

Ilustración 155 Presupuesto hoja 4. Elaboración propia en Excel.

TUBERÍAS, VALVULERÍA Y ACCESORIOS

562	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN400, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	504,00	283.248,00
432	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN350, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	386,00	166.752,00
255	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN300, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	304,00	77.520,00
257	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN250, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	245,00	62.965,00
98	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN200, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	165,00	16.170,00
200	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN175, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	128,00	25.600,00
114	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN150, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	105,00	11.970,00
225	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN80, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	55,00	12.375,00

Ilustración 156 Presupuesto hoja 5. Elaboración propia en Excel.

135	M.I. Tubería de acero negro soldado según norma UNE-EN-253:1994, preaislada de LÖGSTOR, con diámetro DN65, incluso parte proporcional de accesorios, soportes y material de soldadura.	42,00	5.670,00
4	Uds. Interruptores de flujo para control de circulación de agua por enfriadoras, para tubería, incluso conexionado eléctrico.	144,00	576,00
10	Uds. Purgadores automáticos de aire a flotador FLOATPUR o similar, con cuerpo y tapa en latón estampado, válvula con cierre en silicona, tapón cromado y flotador en polipropileno.	15,00	150,00
28	Uds. Termómetros de esfera de 80 mm de diámetro, escala de medición 0 - 120°C, con funda, salida vertical y rosca de 1/2".	48,00	1.344,00
38	Uds. Manómetros de esfera con diámetro de 80 mm, con escala 0 - 6 bar, salida vertical y rosca de 1/2".	36,00	1.368,00
8	Uds. Válvulas de retención DN300, PN-16, de doble clapeta, con cuerpo de hierro fundido, platos en latón y resortes de acero inoxidable, contrabridas, juntas y tornillos.	446,00	3.568,00
2	Uds. Válvulas de seguridad DN65, con cuerpo de bronce y resorte de acero cromado.	227,00	454,00
14	Uds. Filtro colador DN300, PN-16, con cuerpo y tapa de hierro fundido, tamiz de acero inoxidable, contrabridas, juntas y tornillos.	848,00	11.872,00
TOTAL TUBERÍA, VALVULERÍA Y ACCESORIOS			681.602,00

ACUMULACIÓN Y EXPANSIÓN

1	Ud. Depósito acumulador de inercia para instalación de las BCHT, marca LAPESA, con capacidad de 10.000 litros, con diámetro de 2 m y altura de 3 m, peso de chapa 2000 kg, construido en chapa de acero negro pintada exteriormente, incluso bridas para conexión hidráulica, aislamiento térmico en poliuretano expandido recubierto de chapa de aluminio.	15.375,00	15.375,00
---	---	-----------	-----------

Ilustración 157 Presupuesto hoja 6. Elaboración propia en Excel.

1	Ud. Sistema de expansión con transferencia de masa por bomba, marca SEDICAL, modelo VG 4000/10, con capacidad de 4000 litros, pintado exteriormente y provisto de membrana recambiable, con vaso de control de 100 litros, bomba centrífuga, cuadro eléctrico, unidad de control, incluso conexasión hidráulico y eléctrico.	36.531,00	36.531,00
1	Ud. Depósito de expansión cerrado marca SEDICAL, modelo S 140, con capacidad de 140 litros, pintado exteriormente y provisto de membrana elástica recambiable y cámara de nitrógeno a presión, incluso conexasión hidráulico.	723,00	723,00
TOTAL ACUMULACIÓN Y EXPANSIÓN			52.629,00

SUBESTACIONES DE INTERCAMBIO TÉRMICO

1	Ud. Subestación para intercambio de calor en el edificio, marca SEDICAL, modelo SE-100, de 100 kW, equipada con intercambiador de placas, válvula de control de dos vías, contador de energía térmica con comunicación MODBUS, filtro metálico, válvulas de corte, válvula de seguridad, válvula de retención, manómetro, termómetro, purgador rápido automático, cuadro eléctrico y de control (0-10 V), sonda de temperatura de inmersión, regulador automático de caudal K-Flow, válvula de drenaje y estructura autoportante, incluso conexasión hidráulico, eléctrico y de control.	2.175,00	2.175,00
3	Ud. Subestación para intercambio de calor en el edificio, marca SEDICAL, modelo SE-200, de 200 kW, equipada con intercambiador de placas, válvula de control de dos vías, contador de energía térmica con comunicación MODBUS, filtro metálico, válvulas de corte, válvula de seguridad, válvula de retención, manómetro, termómetro, purgador rápido automático, cuadro eléctrico y de control (0-10 V), sonda de temperatura de inmersión, regulador automático de caudal K-Flow, válvula de drenaje y estructura autoportante, incluso conexasión hidráulico, eléctrico y de control.	3.915,00	11.745,00
5	Ud. Subestación para intercambio de calor en el edificio, marca SEDICAL, modelo SE-300, de 300 kW, equipada con intercambiador de placas, válvula de control de dos vías, contador de energía térmica con comunicación MODBUS, filtro metálico, válvulas de corte, válvula de seguridad, válvula de retención, manómetro, termómetro, purgador rápido automático, cuadro eléctrico y de control (0-10 V), sonda de temperatura de inmersión, regulador automático de caudal K-Flow, válvula de drenaje y estructura autoportante, incluso conexasión hidráulico, eléctrico y de control.	5.872,00	29.360,00

Ilustración 158 Presupuesto hoja 7. Elaboración propia en Excel.

1	Ud. Subestación para intercambio de calor en el edificio, marca SEDICAL, modelo SE-700, de 700 kW, equipada con intercambiador de placas, válvula de control de dos vías, contador de energía térmica con comunicación MODBUS, filtro metálico, válvulas de corte, válvula de seguridad, válvula de retención, manómetro, termómetro, purgador rápido automático, cuadro eléctrico y de control (0-10 V), sonda de temperatura de inmersión, regulador automático de caudal K-Flow, válvula de drenaje y estructura autoportante, incluso conexionado hidráulico, eléctrico y de control.	9.396,00	9.396,00
1	Ud. Subestación para intercambio de calor en el edificio, marca SEDICAL, modelo SE-3000, de 3000 kW, equipada con intercambiador de placas, válvula de control de dos vías, contador de energía térmica con comunicación MODBUS, filtro metálico, válvulas de corte, válvula de seguridad, válvula de retención, manómetro, termómetro, purgador rápido automático, cuadro eléctrico y de control (0-10 V), sonda de temperatura de inmersión, regulador automático de caudal K-Flow, válvula de drenaje y estructura autoportante, incluso conexionado hidráulico, eléctrico y de control.	21.141,00	21.141,00
TOTAL SUBESTACIONES DE INTERCAMBIO TÉRMICO			73.817,00

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

1	<p>Ud. Instalación eléctrica para funcionamiento de la central térmica, compuesta por los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Centro de transformación (CT) con 3 trafos de 800 kVA - Cuadro general de BT para alojamiento de todo el aparellaje, interruptores automáticos, diferenciales, interruptores de corte en carga, transformadores de medida, contactores, guardamotores, selectores de posición, pulsadores, pilotos luminosos de estado y toma de tierra. - Cable de Cu libre de halógenos RZ1-K con aislamiento de 0,6/1 kV. - Bandeja portadora de cables construida en chapa de acero galvanizado, para canalizaciones eléctricas desde el CT hasta el cuadro general de BT. - Tubo rígido de acero galvanizado enchufable para alojamiento de conductores de las líneas de alimentación a los diferentes receptores, en montaje superficial. - Tubo flexible de acero, protegido con PVC color gris para tramos finales de conexión a receptores. - Luminarias con lámparas halógenas para iluminación de la sala de máquinas, con iluminancia media 200 lux y uniformidad media 0,5. - Cajas de mecanismos para interruptores y tomas de corriente estancas y en montaje superficial. <p>incluso analizador de redes para medición de tensión e intensidad, frecuencia y factor de potencia, y accesorios de montaje.</p>	237.000,00	237.000,00
TOTAL INSTALACIÓN ELÉCTRICA			237.000,00

Ilustración 159 Presupuesto hoja 8. Elaboración propia en Excel.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA AUTOCONSUMO

1	<p>Ud. Instalación de energía solar fotovoltaica para autoconsumo eléctrico de la central térmica, compuesta por los siguientes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suministro y montaje de 768 módulos fotovoltaicos, marca Trina Solar, modelo Vertex TSM-DE18M(II), de células monocristalinas, con potencia pico de 510 Wp, con dimensiones 2,2x1,1x0,035 [m], y peso de 26,5 kg. - Suministro y montaje de 3 inversores, marca Zigor ZGR, modelos CTR 300, STR 50, STR 20, con potencias 300 kW, 50 kW y 20 kW, respectivamente. - Cuadros eléctricos de protección tanto de CC como de CA, dotados de su correspondiente aparamenta. - Líneas eléctricas de CC para conexión de los strings con sus respectivos inversores, y de CA para conexión de los inversores con el cuadro eléctrico general de BT instalado en la central térmica. - Bandejas de rejilla y tubos metálicos para alojamiento de conductores. <p>incluso conectores y accesorios de montaje.</p>	470400	470.400,00
TOTAL INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA			470.400,00

CONTROL

1	<p>Ud. Instalación de regulación y control para funcionamiento automático de la central térmica, compuesta por los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un microcontrolador PLC para la red DHC, marca SIEMENS LOGO! Modelo 8. - Controladores SEDICAL de cada una de las 11 subestaciones. - Comunicación Modbus con 1,8 km-2 km, incluida interfaz - Supervisión SCADA - 4 válvulas de tres vías con servomotor SM-41, marca BAXI Roca. - Control del motor de bombas circuladoras - Sondas de temperatura (termistores) analógicas - Interruptores on/off de circulación de agua por las torres de refrigeración - Contadores de energía térmica 	40.598	40.598,00
TOTAL REGULACIÓN Y CONTROL			40.598,00

Ilustración 160 Presupuesto hoja 9. Elaboración propia en Excel.

CONSTRUCCIÓN SALA DE MÁQUINAS

<p>1 Ud. Construcción del edificio de la sala de máquinas, compuesta por los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cimentación con zapatas de HA, que servirán de apoyo a la estructura del edificio de la sala de máquinas. - Solera a base de enchado de grava y losa de HA sobre el mismo. - Pilares de HA que se conectarán a las zapatas. - Cerramientos a base de placas de hormigón prefabricado. - Forjado de losa de hormigón alveolar, con lámina geotextil impermeabilizante y baldosas cerámicas. - Formación de 4 huecos de ventilación de la sala de máquinas con rejillas de lamas de aluminio, dimensiones de 100 x 80 cm. - Formación de bancadas de HA de 15 cm de espesor para soporte de las enfriadoras, BCHTs, bombas circuladoras y depósitos. - Instalación de suministro de agua para llenado de los diferentes circuitos de la red. - Instalación de saneamiento y evacuación de aguas pluviales y de limpieza de la sala de máquinas. - Colocación de portón de acceso a la sala de máquinas, con dos hojas metálicas de 2 m de ancho cada hoja x 4 m de alto. - Instalación de 4 extintores portátiles de polvo seco polivalente con capacidad de 9 kg. 	<p>852908</p>	<p>852908</p>
TOTAL CONSTRUCCIÓN SALA DE MÁQUINAS		852.908,00

OBRA CIVIL

<p>1 Ud. Realización de zanjas por la vía pública para alojamiento de tuberías de distribución de calor o frío a los edificios, compuesta por los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corte de pavimento asfáltico de 10 cm de espesor. - Demolición de pavimento asfáltico y carga en excavadora hasta 50 cm de espesor. - Excavación y entibación de zanjas con ancho de 1,5 m y profundidad de 3,5 m. - Aportación de lecho de arena en el fondo para colocación de tuberías y, una vez colocadas éstas, relleno con arena en una capa de 20 cm de espesor. A continuación, vertido de tierra de la propia excavación y compactación hasta la superficie a asfaltar. - Colocación de pavimento asfáltico sobre la tierra apisonada, igualando la superficie exterior al nivel de la vía pública. 	<p>74098</p>	<p>74098</p>
TOTAL CONSTRUCCIÓN SALA DE MÁQUINAS		74.098,00

TOTAL PRESUPUESTO 9.070.984,00

Ilustración 161 Presupuesto hoja 10. Elaboración propia en Excel.

Capítulo 10. ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

En este capítulo, se incluyen aquellos documentos impuestos por exigencias legales, tales como Prevención de Riesgos Laborales e Impacto Ambiental.

En primer lugar, se definirá el Impacto ambiental atendiendo a los refrigerantes, que según el RSIF (RD 552/2019), IF-02, el Apéndice 2 indica cómo se calcula el impacto total equivalente sobre el calentamiento atmosférico TEWI (Total Equivalent Warming Impact).

Se cita del mismo la metodología:

*El factor TEWI es un parámetro utilizado para evaluar el calentamiento atmosférico producido durante la vida de funcionamiento de un sistema de refrigeración, **englobando la contribución directa de las emisiones del refrigerante a la atmósfera y la contribución indirecta de las emisiones equivalentes de dióxido de carbono resultantes de consumo energético del sistema de refrigeración durante su periodo de vida útil. Cuantifica el calentamiento atmosférico directo del refrigerante **si se libera** [...].***

El TEWI se determina para el sistema de refrigeración (y no sólo respecto al refrigerante en sí), respecto a factores importantes como son: tiempo de funcionamiento, vida de servicio, factor de conversión y eficiencia energética. La eficiencia energética es el objetivo más significativo para reducir el calentamiento atmosférico causado por la refrigeración.

- *Un equipo frigorífico muy eficaz con un refrigerante que tiene elevado potencial de calentamiento atmosférico puede ser menos perjudicial para el medio ambiente*
- *que un equipo de refrigeración ineficaz con un refrigerante de bajo PCA que, sin embargo, genere un consumo de energía mayor.*

Especialmente si se minimizan las emisiones: la ausencia de fugas significa inexistencia de calentamiento atmosférico directo.

Para un sistema frigorífico determinado, el TEWI incluye:

- a) El impacto directo sobre el calentamiento atmosférico bajo ciertas condiciones de **pérdida de refrigerante.***
- b) El impacto directo sobre el calentamiento atmosférico debido a los **gases emitidos** por el aislamiento u otros componentes, si procede.*
- c) El impacto indirecto sobre el calentamiento atmosférico por el **CO₂** emitido durante la generación de la **energía consumida por el sistema.** Deberá tenerse en cuenta el consumo total de energía durante el funcionamiento (incluyendo las **pérdidas de puesta en régimen y distribución**).*

El TEWI es la suma de tres componentes, como se explica a continuación:

TEWI = PCA de impacto directo debido a fugas de refrigerante + PCA de impacto directo por pérdidas producidas en la recuperación del refrigerante + PCA de impacto indirecto debido a la energía consumida del sistema frigorífico.

Que algebraicamente, se expresaría como sigue:

$$\text{TEWI} = \text{PCA} \cdot L \cdot n + \text{PCA} \cdot m \cdot (1 - \alpha_{\text{recup.}}) + n \cdot E_{\text{anual}} \cdot \beta$$

TEWI se mide en kg equivalentes de CO₂.

PCA (potencial de calentamiento atmosférico) referido al CO₂ (R-744), que se basa en un horizonte de tiempo de integración acordado de 100 años.

L son las fugas, expresadas en kilogramos por año. Las fugas son inversamente proporcionales al tamaño de la instalación.

E_{anual} es el consumo energético del sistema frigorífico, en kWh/año.

β es un factor de emisión de CO₂, medido en cantidad de CO₂ producido por cada 1 kWh térmico generado. Este valor va asociado a los coeficientes de paso de energía final a energía primaria.

Los refrigerantes utilizados por las máquinas son los siguientes:

- Máquina de absorción: R-718 = Agua → categoría RSIF: A1 (muy seguro)
- Chiller de compresión: R-1233zd(E) → categoría RSIF: A1 (muy seguro)
- BC de alta temperatura: R-1234ze(E) → categoría RSIF: A2L (media seguridad)

Existen el Grupo L1 de alta seguridad (donde sólo está el refrigerante A1); el Grupo L2 de media seguridad (A2L, A2, B1, B2L, B2); y el Grupo L3 de baja seguridad (A3, B3).

Véase la tabla 2, recopilación del RSIF (RD 552/2019) en cuanto a los refrigerantes empleados.

Clasificación		Nº de refrigerante	DENOMINACIÓN	Punto de ebullición a 101,3 kPa °C	Inflamabilidad		Potencial de calentamiento atmosférico PCA 100 (años)	Potencial agotamiento de la capa de ozono PAO
Grupo L	Clase de seguridad				Temp. Auto-ignición °C	Límite inferior de inflamabilidad Kg/m ³		
1	A1	R-744	Dióxido de carbono	-78	NO	NF	1	0
1	A1	R-718	Agua	100	NA	NF	0	0
1	A1	R-1233zd(E)	Trans-1-cloro-3,3,3-trifluorprop-1-N	18,1	NO	NF	4,5	0
2	A2L	R-1234ze(E)	Trans 1,3,3,3 Tetrafluorpropeno	-19	368	0,303	7	0

Tabla 2 Refrigerantes con sus características según el RSIF. Elaboración propia.

Se considera que un refrigerante tiene bajo impacto en el calentamiento global cuando su PCA es inferior a 150, el cual cumplen de sobra los refrigerantes de este proyecto como se observa en la tabla. Las toneladas equivalentes de CO₂ (la medida de referencia) de cada refrigerante son $0,1 \cdot PCA = [\text{teq CO}_2]$ si el equipo carga 100 kg, es decir:

- Agua: 0 teq CO₂
- R-1233zd(E): 0,45 teq CO₂
- R-1234ze(E): 0,7 teq CO₂

Entonces, la carga de refrigerante **R-1234ze(E)**, **único preocupante al ser clase A2L**, de la BCHT es 330 kg, acorde al fabricante, quien también ha facilitado **2,3 teq CO₂ (TEWI)** del mismo (contando con el 5% de pérdidas en el consumo del compresor por la transmisión desde el condensador al evaporador la máquina BCHT).

Por su parte, el fabricante Carrier afirma en su Manual de uso y mantenimiento que el R-1233zd(E) es un *refrigerante a baja presión y no inflamable*. El R-1233zd(E), grupo A1, estará a una presión inferior a la atmosférica hasta una temperatura de unos 18,5 °C. Las trazas de vapor deben desplazarse con nitrógeno y la zona de trabajo debe estar bien ventilada porque el refrigerante en contacto con una llama genera gases tóxicos.

En conclusión, el TEWI en el proyecto es de 2,3 teq CO₂ para el R-1234ze clase A2L, habiendo considerado la vida útil de las máquinas. Pero ese valor es si se fugara toda la carga de refrigerante, de modo que realísticamente bastará con considerar el 2% de probabilidad de que se fuge por la tubería al ambiente; 0,046 teq CO₂.

Por otra parte, el objeto de la **Prevención de Riesgos Laborales** es abordar un tratamiento integral que propicie una actuación preventiva eficaz respecto de los riesgos profesionales que suelen presentarse en las obras, dicha actuación preventiva se ira haciendo por etapas mediante la planificación, puesta en práctica, seguimiento y control de las medidas de seguridad y salud, integrada en las distintas fases del proceso constructivo, así como de su mantenimiento y reparación.

Existe un Manual de Prevención de Riesgos Laborales (PRL), citado del Ministerio de Trabajo en 2007, y es una guía sobre cómo los trabajadores deben prevenir los accidentes durante la obra y cómo deberán ir equipados para minimizar los riesgos previsibles e inesperados.

No obstante, se ve un mayor detalle en el Código Técnico de Prevención en Obra Civil tiene un Documento Básico de PRL-MT (movimiento de tierras) 03. Se cita del mismo: “A efectos de este DB, se considera movimiento de tierras a la actividad que tiene por objeto la modificación de la geometría del **terreno**, así como la **retirada de material** del mismo para posibilitar la ejecución de cimentaciones o la instalación de **conducciones subterráneas y su relleno posterior**”. Véase la ilustración 162.

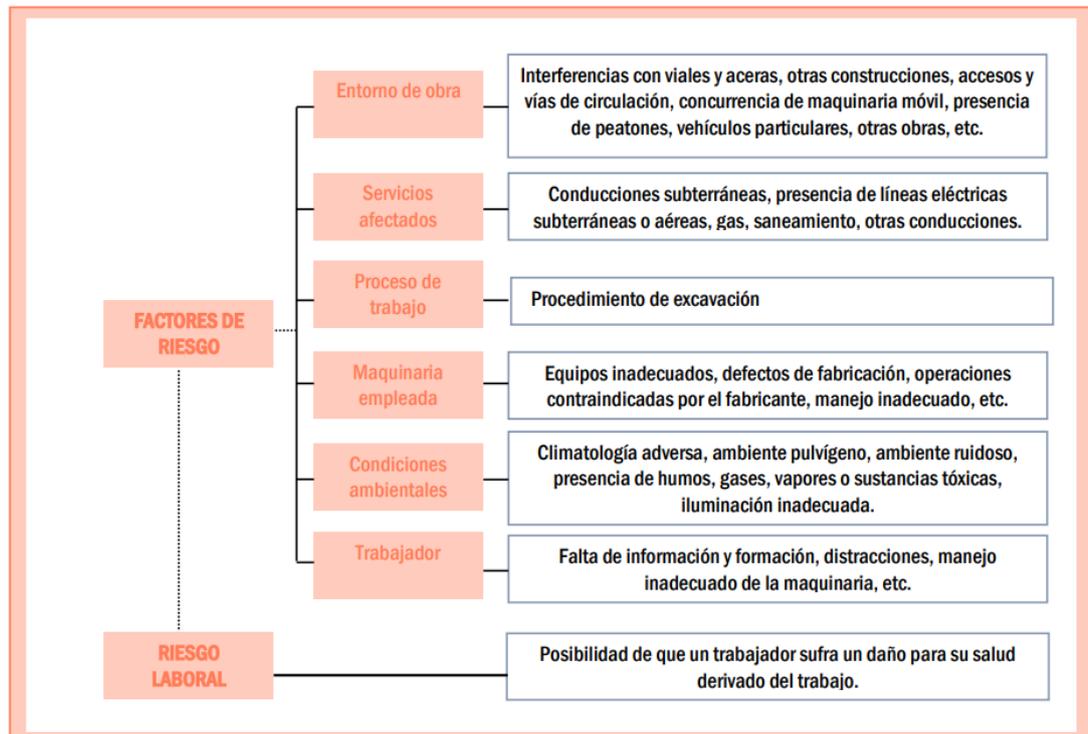


Ilustración 162 Factores de riesgo. Fuente: CÓDIGO TÉCNICO DE PREVENCIÓN EN OBRA CIVIL, DB-PRL-MT 3.

El RD 1428/2003 aprueba el Reglamento General de Circulación, esto es, la señalización de obras, señales viales en vehículos y tramos en obras. Anexo I Catálogo oficial de señales de circulación.

Todas las formas conocidas de entibar se pueden consultar en la guía de buenas prácticas sobre prevención del desprendimiento de tierras denominada **NTP 278: Zanjas**. Viene del Ministerio de Trabajo y Asuntos sociales de España (el que hubo hasta 2008, y hoy llamado Ministerio de Trabajo y Economía Social), del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (encomendado por la Ley de PRL), y del Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. De hecho, se consideran las NTP del 786 al 820, del año 2008, como documentos breves, cada uno de los cuales tratan un tema preventivo concreto para resolver los problemas del día a día en una empresa, acorde a la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

El reglamento principal por excelencia en lo que se refiere a construcción, es el **RD 1627/1997**, que establece las **disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción**. Su Capítulo II Disposiciones específicas de seguridad y salud durante las fases de proyecto y la ejecución de las obras (Artículo 10 Principios generales aplicables durante la ejecución de la obra). Anexo IV Parte C relativo a la actividad de los trabajadores y su seguridad, como las condiciones de estabilidad, caídas de objetivos o propias en altura, factores atmosféricos no controlables, andamios y escaleras, etc.

El RD 1215/1997, cuya modificación es el RD 2177/2014. Utilización de los equipos de trabajo por los trabajadores. Los trabajadores deberán consultar el Anexo II Condiciones de utilización.

La Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, muy famosa en industria.

El Real Decreto Legislativo 1/1994, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social.

Se vuelve a mencionar la Ley 9/2017, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE.

Y se menciona la nueva norma ISO 45001:2018, que ha sustituido al OHSAS 18001, sobre la seguridad y salud en el trabajo (SST). Es de las normas más esperadas del mundo, porque en vez de estar diseñada por procedimientos, lo está por procesos (que es un enfoque más general) y constituye un refuerzo de los niveles de seguridad en el puesto de trabajo, al mostrar visión de conjunto como organización y no sólo en términos de documentación. Al momento de certificarse una empresa en la ISO 45001, tendrá un Mapa de procesos, pudiendo

ser integrados para más de un sistema. Además, la ISO 3100 muestra la metodología en un sencillo ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) o ciclo de Deming pero tratando de paliar riesgos.

Del REBT (RD 842/2002) se cita:

Artículo 27. Accidentes.

“[...] Cuando se produzca un accidente que ocasione daños o víctimas, la compañía suministradora deberá redactar un informe que recoja los aspectos esenciales del mismo. En los quince primeros días de cada trimestre, deberán remitir a las Comunidades Autónomas y al centro directivo competente en materia de seguridad industrial del Ministerio de Ciencia y Tecnología, copia de todos los informes realizados.”

El RSIF (RD 552/2019) también hace su aportación en el Capítulo V Otras disposiciones:

Artículo 29. Accidentes.

*1.A efectos estadísticos, sin perjuicio de otras comunicaciones sobre el accidente a las autoridades laborales previstas en la normativa laboral, cuando se produzca un accidente que ocasione daños a las personas que requieran asistencia médica o víctimas mortales, daños al medio ambiente o a la propia instalación, si este produce una parada de la instalación superior a una semana, el **titular deberá notificarlo lo antes posible** y, en todo caso, **en un plazo no superior a veinticuatro horas al órgano competente en materia de industria de la Comunidad Autónoma**, el cual llevará a cabo las actuaciones que considere oportunas para **esclarecer las causas del mismo**.*

*2.De dicho accidente, **se elaborará un informe**, que el **titular de la instalación** remitirá en el plazo de **un mes** al órgano competente en materia de industria de la Comunidad Autónoma.*

Y el RITE (RD 1027/2007) dispone de manera similar como se cita a continuación:

Artículo 13. Seguridad.

Las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de tal forma que se prevenga y reduzca a límites aceptables el riesgo de sufrir accidentes y siniestros capaces de producir daños o perjuicios a las personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente, así como de otros hechos susceptibles de producir en los usuarios molestias o enfermedades.

Ha de tenerse muy en cuenta la protección y seguridad contra incendios. El RSIF indica:

4.3 Sistemas situados en envolventes ventilados colocados en espacio ocupado.

*La resistencia al fuego del conducto y de la envolvente será la misma que la exigida para los materiales, espesores y ejecución de los cerramientos y puertas de las **salas de máquinas**, por el **Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos industriales**, aprobado por **Real Decreto 2267/2004**, de 3 de diciembre.*

Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

1. 2013. Giménez Font, X. **CONCIENCIA ECO**. *Historia*. Disponible: <https://www.concienciaeco.com/2014/10/07/la-capa-de-ozono-y-el-efecto-invernadero-no-tienen-relacion/>
2. 2017. Llorente, F. **METEORED Tiempo**. *Balance energético global*. Disponible: <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/-que-es-el-balance-energetico-global-.html#:~:text=Nuestro%20planeta%20recibe%20energ%C3%ADa%20del,se%20llama%20balance%20energ%C3%A9tico%20terrestre.>
3. **Ministerio de Educación**. Absorción y pérdida de energía térmica en el mar. Disponible: https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/6_absorcin_y_prdida_de_energa_trmica_en_el_mar.html
4. 2022. Maslin, M. **LENNTECH**. *Resumen de la Historia sobre el efecto invernadero y calentamiento global de la Tierra. Escenarios IPCC-SRES*. Disponible: <https://www.lenntech.es/efecto-invernadero/historia-calentamiento-global.htm>
5. **WWF**. *Evolución de las Cumbres del Clima*. Disponible: https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/clima_y_energia/cambio_climatico/cumbres_del_clima/ y <https://op.europa.eu/webpub/eca/lr-energy-and-climate/es/>
6. Sabogal, N. **Revista de Relaciones Internacionales** nº 14. Disponible: https://www.iri.edu.ar/revistas/revista_dvd/revistas/R14/R14-ESAB.html#:~:text=El%20Protocolo%20de%20Montreal%20ha,de%20varias%20de%20estas%20sustancias.
7. Montañez, A. 2021. **Verde y azul**. Protocolos principales de Montreal, Kioto y París. Disponible: <https://verdeyazul.diarioinformacion.com/montreal-kioto-y-paris-tres-grandes-hitos-mundiales-para-salvar-el-planeta.html>
8. **United Nations for Climate Change**. Disponible: https://unfccc.int/es/kyoto_protocol
9. **MITECO**. *Acuerdo de París y Proyectos de reducción de emisiones FES-CO₂*. Disponible: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx>

10. 11/11/2022. **Télam Digital**. *Informe COP 27 según Global Carbon Project*. Disponible: <https://www.telam.com.ar/notas/202211/610572-contaminacion-aumento-record.html>
11. Valladares, F. Museo Nacional de Ciencias Naturales. 21/11/2022. **The Conversation – Quo Diario**. Disponible: <https://quo.eldiario.es/naturaleza/q2211942504/conclusiones-de-la-cop-27-siete-logros-ocho-problemas-y-una-gran-decepcion/>
12. **Activatie**. Ley 7/2021. Disponible: <https://www.activatie.org/noticia?1331-Publicada-en-el-BOE-la-Ley-7/2021-de-cambio-clim%C3%A1tico-y-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica>
13. **MITMA**. ERESEE 2020. Disponible: <https://www.mitma.gob.es/> y <https://gbce.es/>.
14. **GBCE**. Informe en pdf “La descarbonización de la edificación”. Disponible: <https://gbce.es>.
15. **EuroHeat**. Plan de 10 puntos para acelerar la transición ecológica en la UE: Disponible: <https://www.euroheat.org/resource/a-10-point-plan-to-accelerate-the-eu-heat-transition.html>
16. **MITECO**. *PNIEC* y *PNACC*. Disponible: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/>
17. Conferencia de ATECYR (sobre la ERESEE, el PNIEC y PNACC, Plan de Resiliencia, Renove, menciones del IDEA). **Curso Estrategia Rehabilitación Energética en el sector residencial para consumo casi nulo**. Mediante Webex el 3-1-2021. Disponible: <https://www.atecyr.org>.
18. **Fundación andaluza Descubre**. *Qué es el mix energético*. Disponible: <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/energia-y-economia/que-es-el-mix-energetico/> y <https://tarifamasbarata.com/blog/mix-energetico-espanol-verde/>
19. **IDAE**. Guía básica de Redes de Calor y Frío. **ADHAC**. Disponible: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_20110502_Guia_Basica_Red_de_Calor_y_de_Frio_ES_5e18b14a.pdf
20. 2016. **TD SYNnex**. Reutilizar el calor residual de CPDs. Disponible: <https://blog-es.lac.tdsynnex.com/como-reutilizar-el-calor-residual-de-data-centers-inteligentemente>

21. **Danfoss Engineering tomorrow**. Proyectos de eficiencia urbana. Disponible: <https://www.danfoss.com/es-es/about-danfoss/insights-for-tomorrow/urban-efficiency/> y <https://www.construible.es/2014/02/18/concedida-la-licencia-para-el-district-heating-de-la-uva>

22. Curso “Diseño de Sistemas de Climatización en Data Centers” del ponente Ricardo Abad (de la empresa Quark) para Atecyr, en formato videoconferencia con una duración de 8 horas, los días 8 y 10 de noviembre de 2022.

23. **Comunidad de Madrid**. Subvenciones Next Generation EU. Disponible: [Ayudas renovables térmicas | Comunidad de Madrid](#) y <https://www.cambioenergetico.com/blog/subvenciones/fondos-europeos-autoconsumo-madrid/>

24. Fernández, J. (**Carrier**). **Fenercom**. Uso de enfriadoras y bombas de calor en las redes de Calor y Frío. Disponible: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/10/2017-03-07-Generacion-de-frio-en-redes-de-climatizacion-CARRIER-fenercom.pdf>

25. **BrainsRe**. Retornos de inversión de CPDs. Disponible: <https://brainsre.news/la-escasez-de-oferta-dispara-la-rentabilidad-de-los-centros-de-datos-y-atrae-al-inmobiliario/>

26. (2022) KIO Networks. Inversión de un CPD en función de su nivel TIER. Disponible: <https://www.kionetworks.com/blog/data-center/costos-de-un-centro-de-datos>

27. (2021) Mora, Gerson. MundoChiller. Comparación de enfriadoras condensadas por agua vs por aire. Disponible: <https://mundochiller.com/refrigerado-por-aire-vs-refrigerado-por-liquido/>

28. Jiménez, M. **Cinco Días | El País**. Centros de datos en España. Disponible: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/10/20/companias/1666217631_594640.html

29. COGITIM titulado “Redes de frío y calor mediante bombas de calor renovables” que se celebró por videoconferencia el 23 de noviembre de 2022 a las 18:00h, la exposición comercial del ponente de la empresa Carrier, Enrique Gómez Pascual.

30. **Sede electrónica del Ayuntamiento de Madrid.** Tramitación. Disponible: <https://sede.madrid.es/portal/site/tramites/menuitem.c61bb691882ed9d32e202e2084f1a5a0/?vgnextoid=a5fca38813180210VgnVCM100000c90da8c0RCRD&vgnnextchannel=a5fca38813180210VgnVCM100000c90da8c0RCRD&vgnnextfmt=default&target=VerTodos&selectedChannel=true>

31. **Gesab.** Cómo Mexico recupera el calor de CPDs. Disponible: <https://gesab.com/noticias/recuperar-calor-del-data-center/>

32. PVGIS. Latitud de Rejas (Madrid) para fotovoltaica. Disponible: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

33. (2010) Guía técnica de Condiciones climáticas exteriores de proyecto. **IDAE.**

34. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (**CIDTA**). Fórmula con tres autores para la pérdida de carga en tuberías. Disponible: [https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/cursos/uni_08/Enlace%20C2\(2\)-Epanet.htm](https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/cursos/uni_08/Enlace%20C2(2)-Epanet.htm)

35. (2019) Bruno. Blog Ingenierosindustriales.com. Cálculo de vasos de expansión cerrados. Disponible: <https://www.ingenierosindustriales.com/calculo-de-vasos-de-expansion-cerrados/>

36. WikiData. Cuadrigeneración vs Tetrageneración. Disponible: <https://www.wiki-data.es-es.nina.az/Cogeneraci%C3%B3n.html>

Finalmente, se sugiere consultar si fuera de interés las siguientes asociaciones:

Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización AFEC.

Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF).

Asociación Empresarial Fotovoltaica (AEF).

ANPIER.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

<https://riesgoslaborales.saludlaboral.org/normativa/>

<http://www.samst.es/guias/otrasGuiasINSHT.aspx>