



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio de un sistema de autoabastecimiento energético solar
para ACS, calefacción y refrigeración del cuartel de alumnos
Francisco Moreno*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Julio García-Puente Navarro

DIRECTORES: Lara Febrero Garrido

Araceli Regueiro Pereira

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

**Estudio de un sistema de autoabastecimiento energético solar
para ACS, calefacción y refrigeración del cuartel de alumnos
Francisco Moreno**

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado pretende estudiar la posibilidad de incorporar un sistema básico de autoabastecimiento energético en el cuartel de alumnos Francisco Moreno, mediante un campo de colectores solares que, captando la radiación solar, contribuya porcentualmente a las necesidades energéticas del sistema de agua caliente sanitaria y calefacción, actualmente suministrados mediante dos calderas de gas.

Tras realizar un estudio del cuartel donde alrededor de 350 alumnos conviven, haciendo uso de dichos servicios diariamente durante un periodo medio de 5 años, se realiza un pre-dimensionamiento básico del sistema solar en base a la demanda estimada según los estándares mínimos recogidos en el Código Técnico de la Edificación. A mayores, se estima la demanda de refrigeración de la sala sureste de la biblioteca del mismo cuartel, la cual se divide en dos salas comunes, mediante una máquina de absorción basada en el proceso térmico conocido como frío solar.

Tras las estimaciones previas, se realizan los cálculos pertinentes y se analizan los resultados obtenidos. Posteriormente, se realiza un estudio económico y comparativo del conjunto, reflejando el posible ahorro y amortización alcanzados. Por último, se presentan las conclusiones y se promueve a futuras líneas de acción complementar y precisar la investigación realizada con este trabajo, ya que podría ser, en algún momento, una posible inversión por parte de la Escuela Naval Militar.

PALABRAS CLAVE

Autoabastecimiento, captador solar, agua caliente sanitaria, calefacción, frío solar.

AGRADECIMIENTOS

Primero de todo, con estas líneas quiero agradecer a mis padres el apoyo incondicional que me han prestado durante 5 años, estando lejos, pero a la vez, haciendo posible que no lo estuviese gracias a reconfortantes reuniones familiares por videollamada. A cada uno de mis hermanos por estar ahí siempre que los he necesitado, aun sin haberlos visto tampoco todo lo que hubiese querido durante estos largos años.

Al igual que a mis padres y hermanos, quiero agradecer a mi tío Juan la ayuda prestada a lo largo de este TFG, aguantando mis dudas y preocupaciones reflejadas en largas llamadas a horas que no son de recibo y correos llenos de cálculos y preguntas que no dudo en solucionarme, he podido contar con tu conocimiento y experiencia como ingeniero en la rama de las energías de forma particular. De igual forma, a mis tutoras de TFG por su apoyo y dirección en la elaboración del trabajo.

Por último, pero lejos de ser lo menos importante, este trabajo fin de grado refleja el continuo esfuerzo, trabajo, solución de problemas y desafíos; afrontados durante estos 5 largos años de forma diaria mediante largas noches de flexo, mucho sueño, asombrosas clases magistrales de varias horas en el estudio de la T y más café del que me habría gustado tomar; pero, sobre todo, gracias a la paciencia, ayuda, apoyo, unión y estupidez, necesaria también en numerosos momentos de esta carrera. Todo esto ha sido posible gracias a los compañeros y hermanos que la milicia tuvo el honor de hacerme conocer, la promoción 422-152 CGA-IM, y este último año en concreto, reflejado en mis compañeros de estudio y camareta, de la inquebrantable; fuente inagotable de sabiduría, sacrificio y trabajo duro, pero, sobre todo, de compañerismo. Gracias.

CONTENIDO

Contenido	8
Índice de Figuras	10
Índice de Gráficos	12
Índice de Tablas.....	13
Abreviaturas y Acrónimos.....	14
1 Introducción.....	15
1.1 Introducción	15
1.2 Motivación e interés del trabajo	16
1.3 Objetivos	17
1.4 Estructura del TFG	17
2 Estado del arte	19
2.1 Energías renovables	19
2.1.1 Las energías renovables en el ámbito nacional	19
2.1.2 Ventajas e inconvenientes de las energías renovables.....	21
2.1.3 Tipos de energías renovables.....	22
2.2 Energía solar	23
2.2.1 ¿Qué es la energía solar?	23
2.2.2 Tipos de energía solar	24
2.3 Energía solar térmica	24
2.3.1 Sistema de calefacción y ACS	24
2.3.2 Refrigeración	25
2.4 Normativa.....	27
2.5 Componentes y materiales	28
2.5.1 Circuitos.....	28
2.5.2 Sistemas	28
2.5.3 Elementos	29
3 Instalación solar.....	34
3.1 Descripción del edificio	34
3.1.1 Generalidades del cuartel de alumnos “Francisco Moreno”	34
3.1.2 Sistema actual de calefacción y ACS	37
3.2 Metodología para el dimensionado básico del sistema solar para ACS y calefacción	41
3.2.1 Conceptos teóricos.....	42

3.2.2 Estimación de datos	43
3.2.3 Software de simulación.....	49
3.3 Frío solar	53
3.3.1 Estimación de la demanda de refrigeración	53
4 Resultados	58
4.1 Contribución solar.....	58
4.2 Frío solar	62
4.3 Estudio económico y comparativo con el sistema actual.....	63
5 Conclusiones y líneas futuras	66
5.1 Conclusiones	66
5.2 Líneas futuras	67
6 Bibliografía.....	68
Anexo I: Vistas del cuartel Almirante Francisco Moreno.....	71
Anexo II: Planos del cuartel Almirante Francisco Moreno.....	73
Anexo III: Descripción gráfica del cuartel Almirante Francisco Moreno.....	75
Anexo IV: Datos climáticos	76
Anexo V: Datos técnicos del captador solar Saunier Duval HelioPLAN SRV 2.3.	80
Anexo VI: Datos técnicos de la máquina de absorción Yazaki WFC-SH-10	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2–1 Esquema de instalación solar de ACS y calefacción [13].	25
Figura 2–2 Sistema de absorción [13].	26
Figura 2–3 Sistema de adsorción [13].	26
Figura 2–4 Captador solar plano [13].	29
Figura 2–5 Captador de vacío de tubos de calor [13].	30
Figura 2–6 Captador de vacío con tubos concéntricos o "tubo en U" [13].	30
Figura 2–7 Captador de tubos de vacío de flujo directo [13].	30
Figura 2–8 Otro tipo de captadores solares [13].	31
Figura 2–9 Tipos de acumuladores e interacumuladores de ACS e inercia [13].	31
Figura 2–10 Diversos tipos de intercambiadores de calor [13].	32
Figura 2–11 Bomba de rotor seco (izquierda) y rotor húmedo (derecha) [23] [24].	32
Figura 2–12 Vaso de expansión cerrado [25].	33
Figura 2–13 Distintos tipos de válvulas [26].	33
Figura 3–1 Geolocalización de la ENM.	35
Figura 3–2 Orientación del cuartel Francisco Moreno.	36
Figura 3–3 Disposición del cuartel Francisco Moreno [27].	36
Figura 3–4 Cuartel Francisco Moreno. Dependencias.	37
Figura 3–5 Sala de Calderas. Calderas BAXI ROCA modelo TECNO-50-GM.	38
Figura 3–6 Sala de Calderas. Acumuladores.	38
Figura 3–7 Sala de Calderas. Intercambiadores de calor.	39
Figura 3–8 Sala de Calderas. Grupo de control.	39
Figura 3–9 Sala de Calderas. Componentes. Bombas de impulsión (arriba izq), colectores (arriba dcha), grupo de presión (abajo izq), vasos de expansión cerrados (abajo dcha).	40
Figura 3–10 Conceptos teóricos. Orientación e inclinación de captadores [28].	43
Figura 3–11 Estimación de datos. Demanda de ACS [28].	44
Figura 3–12 Estimación de datos. Contribución solar mínima (CSM) [28].	44
Figura 3–13 Estimación de datos. Zona climática [28].	45
Figura 3–14 Estimación de datos. Pérdidas por orientación e inclinación [28].	45
Figura 3–15 Estimación de datos. Cuartel Francisco Moreno y edificios colindantes.	46
Figura 3–16 Relación mínima de personas por vivienda [28].	46
Figura 3–17 Cuartel Francisco Moreno. Superficie de captación.	47
Figura 3–18 Estimación de datos. Captador HelioPLAN SRV 2.3 [33].	48
Figura 3–19 Simulación. Datos climáticos.	50
Figura 3–20 Simulación. Esquema básico.	50
Figura 3–21 Simulación. Ocupación.	51

Figura 3–22 Simulación. Sistema de captación.....	52
Figura 3–23 Simulación. Sistema de captación.....	53
Figura 4–1 Resultados generales.	59
Figura 4–2 Resultados. Pérdidas por orientación e inclinación.	60
Figura 4–3 Resultados. Pérdidas por sombra.	60
Figura 4–4 Resultados. Estudio detallado por meses (kWh).....	60
Figura 4–5 Resultados. Máquina de absorción.	62
Figura 4–6 Presupuesto.	65
Figura A1–1 Planta cuartel Almirante Francisco Moreno [27].....	71
Figura A1–2 Sección transversal N-S de la Fachada Principal [27].	71
Figura A1–3 Sección transversal N-S de la Fachada Posterior [27].	72
Figura A1–4 Sección longitudinal W-E de las fachadas S y N, respectivamente [27].	72
Figura A2–1 Planos 1ª y 2ª Plantas cuartel Almirante Francisco Moreno [27].	73
Figura A2–2 Plano Hall 1ª y 2ª Plantas cuartel Almirante Francisco Moreno [27].	74
Figura A3–1 Detalle de las fachadas Principal y Posterior [27].	75
Figura A3–2 Detalle de las fachadas Norte y Sur [27].....	75
Figura A3–3 Detalle del Patio Interior y Fachada Principal [27].....	75
Figura A4–1 Altura y temperatura de agua fría para todas las provincias [20].	76
Figura A4–2 Irradiación global diaria mensual sobre superficie horizontal por provincias [20]. ...	77
Figura A4–3 Temperatura ambiente diaria media mensual por provincias [20].....	78
Figura A5–1 Datos técnicos captador HelioPLAN SRV 2.3 [33].....	80
Figura A5–2 Datos técnicos captador solar HelioPLAN SRV 2.3 [33].	81
Figura A6–1 Datos técnicos máquina absorción Yazaki WFC-SH-10 [34].	82
Figura A6–2 Datos técnicos máquina absorción Yazaki WFC-SH-10 [34].	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Evolución de la generación renovable/no renovable y emisiones de CO2 equivalentes asociadas a la generación de energía eléctrica (en porcentaje y Mt CO2 eq) [7].	20
Gráfico 2-2 Potencia renovable por CC.AA. sobre la energía renovable nacional del año 2020 [7].	20
Gráfico 2-3 Distribución de energías renovables durante el año 2020 en España [7].	21
Gráfico 4-1 Resultados. Demanda energética.	59
Gráfico 4-2 Resultados. Aporte solar.	61
Gráfico 4-3 Consumos energéticos 2015-2020.	63
Gráfico 4-4 Coste de gas 2017-2020.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Principales cumbres climáticas e hitos. Elaboración propia.	15
Tabla 1-2 Metodología de trabajo. Elaboración propia.	18
Tabla 2-1 Tipos de energías renovables. Elaboración propia.	23
Tabla 3-1 Datos técnicos de las calderas del cuartel Francisco Moreno [27].	40
Tabla 4-1 Consumo medio mensual y anual 2017-2020. Elaboración propia.	64
Tabla 4-2 Facturación media mensual y anual 2017-2020. Elaboración propia.	64
Tabla 4-3 Consumo ACS y calefacción en MWh. Elaboración propia.	64
Tabla A4-1 Datos climáticos Pontevedra 2021 [32].	79

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

❖ ACS	Agua Caliente Sanitaria
❖ AIE	Agencia Internacional de la Energía
❖ ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
❖ ASIT	Asociación Solar de la Industria Térmica
❖ BOE	Boletín Oficial del Estado
❖ CFC	Clorofluorocarbonos
❖ COP	Conferencia de las Partes
❖ CTE	Código técnico de Edificación
❖ CUD	Centro Universitario de la Defensa
❖ DB-HE	Documento Básico de Ahorro de Energía
❖ ENM	Escuela Naval Militar
❖ FAS	Fuerzas Armadas
❖ GEI	Gases de Efecto Invernadero
❖ IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
❖ IRENA	Agencia Internacional de Energía Renovable
❖ LOE	Ley Orgánica de Edificación
❖ MITECO	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
❖ OMM	Organización Meteorológica Mundial
❖ OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo
❖ REE	Red Eléctrica de España
❖ RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios
❖ UE	Unión Europea

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

A lo largo de las últimas décadas, el consumo de energía ha contado con combustibles fósiles como fuentes de alimentación primaria, y es por ello que durante este tiempo la actividad humana ha elevado la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) tales como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) o los clorofluorocarbonos (CFC), siendo dañinos para la capa de ozono y responsables de los fenómenos conocidos como calentamiento global y cambio climático [1].

Estos sucesos acarrearán consigo una serie de acontecimientos naturales perjudiciales para la sociedad como tormentas más intensas, una mayor propagación de enfermedades, olas de calor más fuertes, el deshielo de los polos, y por tanto la subida del nivel del mar, huracanes devastadores, cambios parciales y/o totales en los ecosistemas, la deforestación, la desaparición de especies animales o el continuo incremento de la temperatura terrestre.

A raíz del conocimiento globalizado acerca los impactos relacionados con el cambio climático y el calentamiento global, alrededor de 200 países, entre ellos España, han tratado de alcanzar una posible solución a lo largo de los años, creando distintos pactos, acuerdos y negociaciones internacionales. Según la Tabla 1-1, pueden apreciarse las principales cumbres climáticas, tras las cuales se ha conseguido imponer una serie de medidas internacionales, a fin de reducir las emisiones de este tipo de gases e ir adoptando una política más respetuosa con el medioambiente.

Nombre	Fecha- Lugar	Hitos
Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	1992-Brasil	Concienciación global de los problemas relacionados con el medioambiente. Definición del Protocolo de Kioto.
COP3	1997-Japón	Protocolo de Kioto, acuerdo para la reducción de emisiones de gases GEI a nivel global.
COP15	2009-Dinamarca	Establecer compromisos vinculantes a la reducción progresiva de emisiones para mantener el aumento de la temperatura terrestre por debajo de los 2°C.
COP21.Cumbre de París	2015-Francia	Intensificar las acciones e inversiones necesarias para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono.

Tabla 1-1 Principales cumbres climáticas e hitos. Elaboración propia.

Tal y como dice la IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), el objetivo de la sociedad por tener una economía basada en energías renovables es considerablemente importante, *“La acción para reducir el impacto del cambio climático es fundamental. El Acuerdo de París establece el objetivo de limitar el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2 °C por encima de los niveles preindustriales e intentar limitar el aumento a 1,5 °C. Implícito en estos objetivos está la necesidad de una transición a un sector energético bajo en carbono, que representa dos tercios de las emisiones globales. La energía renovable, junto con las ganancias en eficiencia energética, puede proporcionar el 90 % de las reducciones de emisiones de CO₂ necesarias para 2050.”* [2].

En base a estos descubrimientos se ha ido investigando la forma de nutrir equipos eléctricos, practicar la edificación o suministrar energía de una manera más limpia, y, por ende, menos dañina para el medioambiente, con el fin principal de cuidar la capa de ozono, ya que dicha capa es la barrera natural que posee la Tierra para evitar una radiación solar abusiva y cuya función es indispensable para el ser humano, haciendo de nuestro planeta un lugar apto para la vida.

Ya en 2016, la OMM (*Organización Meteorológica Mundial*) advertía que la temperatura terrestre estaba subiendo escandalosamente: *“El clima del año pasado en el planeta hizo historia porque estuvo marcado por “temperaturas máximas sin precedentes, olas de calor intensas, un total extraordinario de precipitaciones, sequías devastadoras y una actividad excepcional de los ciclones tropicales.”* [3]

Aunque no es comúnmente conocido, no solo la industria es causante de las emisiones de gases GEI, la edificación ocupa aproximadamente el 50% de las mismas [4]. En concreto, el Cuartel de Alumnos Francisco Moreno, objeto de estudio durante este trabajo y cuya construcción data de 1977, época en la cual los reglamentos y la normativa vinculante con el ahorro energético no eran ni mucho menos los que se encuentran hoy en día. Por suerte, la edificación actual cuenta con diversos manuales y documentos, como el Código Técnico de Edificación (CTE), que engloban la legislación relacionada con las exigencias energéticas que deben poseer los edificios, como por ejemplo que el 20% de la energía total consumida por el edificio sea de origen renovable, o reducir la concentración de emisiones de este en un 50%, detallado más detenidamente en el apartado 2.4 de Normativa. Es por ello por lo que, en la climatización de edificios, véase mediante sistemas de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) o refrigeración, el uso de máquinas de origen renovable está cogiendo cada vez más peso.

En resumen, teniendo en cuenta la necesidad de un desarrollo sostenible que busque la eficiencia energética de las edificaciones a través del uso de energías renovables, este TFG pretende aportar la posibilidad de hacer uso de paneles solares térmicos que, calentando un fluido caloportador mediante la captación de la radiación solar, serían capaces de calentar una parte del agua suministrada por el sistema de ACS y/o calefacción; y además, generar frío a partir del calor aportado por el fluido, con el fin de refrigerar la zona sureste de la biblioteca Císcar y Císcar, siendo una alternativa de interesante aplicación en el cuartel de alumnos Francisco Moreno, localizado en la Escuela Naval Militar (ENM), con el objetivo de aprovechar esta energía natural, inagotable y gratuita, reduciendo así tanto el consumo de combustibles primarios como el importe económico que esto genera.

1.2 Motivación e interés del trabajo

El consumo continuo de combustibles fósiles como fuente primaria de alimentación lleva consigo connotaciones negativas para todos. Estudios de 2018 muestran que únicamente estos combustibles suponían el 84,7% del consumo energético mundial, dividido principalmente entre el petróleo (36,2%), el carbón (15%) y el gas natural (33,5%), del cual dependen actualmente las 2 calderas que se utilizan para el uso de calefacción y ACS del cuartel de alumnos.

Por otro lado, las Fuerzas Armadas (FAS), y en concreto, la Armada Española lleva realizando diversos estudios para adoptar un papel proactivo respecto a las energías renovables. En particular, el desarrollo y puesta en marcha de instalaciones que permitan reducir en lo posible las emisiones de CO₂ a la atmosfera. Entre ellos se pueden encontrar proyectos sobre la viabilidad de energías alternativas y

renovables para el uso de sistemas de ACS y/o calefacción en las distintas escuelas de instrucción y adiestramiento de la Armada Española [5].

Junto con la idea de poder poner en práctica los conocimientos adquiridos durante las diversas asignaturas relacionadas con las energías y las máquinas térmicas, la posibilidad de sacar beneficio y provecho de una fuente como es la luz del sol, resulta de interés suficiente como para abrir esta línea de trabajo y realizar un estudio preliminar para el acoplamiento de un sistema de autoabastecimiento al sistema de calefacción y ACS del cuartel de alumnos “Francisco Moreno” que permita reducir tanto la cantidad de estas emisiones de gases GEI, así como el impacto económico que ello genera, obteniendo además cierta autonomía energética de forma natural.

Adicionalmente, futuras líneas relacionadas con este tema son, hoy en día, una herramienta interesante donde se presenta la oportunidad de poder investigar opciones energéticas alternativas, en las que podría participar una institución tan milenaria como lo es la Armada Española, facilitando así la posibilidad de tener una mayor concienciación a nivel nacional de cuidar el medioambiente.

1.3 Objetivos

Durante la ejecución de este TFG se pretenden conseguir los siguientes objetivos de mayor o menor índole:

- Estudiar la posibilidad de incorporar un sistema de autoabastecimiento energético solar para contribuir al suministro del sistema de ACS y calefacción del Cuartel de Alumnos Francisco Moreno.
- Realizar un estudio previo del cuartel Francisco Moreno, para después realizar un pre-dimensionamiento básico del sistema, en base a la demanda estimada según los estándares mínimos del CTE.
- Estimar aproximadamente la demanda de refrigeración de la sala sureste de la biblioteca del cuartel Francisco Moreno.
- Propuesta de una máquina de absorción que subsane dicha demanda de refrigeración.
- Realizar un análisis económico del proceso en su conjunto, basado en un presupuesto estimado de la instalación y una comparativa con respecto al sistema actual.
- Promover dicho trabajo para futuras líneas relacionadas con la Armada y su postura con respecto al consumo de energías limpias.
- Integrar y aprovechar los conocimientos y competencias obtenidas durante el grado de Ingeniería Mecánica, centrándose en aquellos adquiridos en el campo de la Termodinámica, Energías y Maquinas Térmicas, impartidos por el personal del Centro Universitario de la Defensa (CUD) a lo largo de 5 años en la Escuela Naval Militar (ENM).

1.4 Estructura del TFG

La composición de este Trabajo Fin de Grado consta de una serie de documentos explicativos que engloban los siguientes capítulos:

1. Una introducción, donde se presenta el tema del proyecto, los motivos de selección de este y los objetivos que se pretenden alcanzar durante su realización.
2. Estado del arte, capítulo para contextualizar las bases técnicas y la situación actual en la que se encuentra el campo en particular de esta línea.
3. Durante el desarrollo del TFG, se estudiará el cuartel de alumnos Francisco Moreno y la posible instalación solar que permita reducir el consumo de las calderas actuales, para ello, se usará una herramienta de cálculo estático, con el fin de adquirir la información necesaria para realizar un pre-dimensionado básico de la instalación, contando con un captador solar seleccionado y los datos recogidos del sistema de ACS y calefacción. Adicionalmente, se estima una demanda de refrigeración en la zona sureste de la biblioteca del mismo cuartel.

4. Posteriormente, se presentan y analizan los resultados obtenidos con el programa y el cálculo preliminar de refrigeración, proponiendo soluciones y un estudio económico del conjunto de la instalación que permita mostrar la viabilidad del sistema.
5. Por último, se expondrán las conclusiones del trabajo y las posibles líneas futuras relacionadas con esta línea de investigación, dejando abierta la posibilidad de mejorar y precisar dicho estudio.

En la Tabla 1-2 podemos ver de forma gráfica la metodología llevada a cabo a lo largo de este TFG.



Tabla 1-2 Metodología de trabajo. Elaboración propia.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Energías renovables

Aquellas energías consideradas como renovables, también conocidas como ecológicas, verdes o alternativas, son aquellas fuentes basadas en la utilización de recursos naturales, por lo que el impacto ambiental que producen es escaso, ya que, además de no consumir recursos finitos, no generan contaminantes. Por ello es importante adoptar una política más globalizada respecto al cambio hacia un mundo más sostenible, ya que el futuro de la humanidad y del planeta dependen de la manera en la que produzcamos energía; y para ello, tener un sistema energético fiable, asequible y descarbonizado es fundamental.

Como se ha comentado previamente, la transición progresiva y globalizada hacia una política alternativa y respetuosa con el medioambiente comenzó a tener peso un poco antes de principios de siglo, con las distintas *Conferencias de las Partes* (COP) tras la existencia de la alta concentración de GEI que afectan a la capa de ozono, en gran parte debido a la quema de combustibles fósiles.

Todo ello ha sido uno de los iniciadores del uso de energías renovables. Actualmente, según la *Agencia Internacional de la Energía* (AIE), el suministro eléctrico global aportado por renovables pasará de un 26% en 2018 a un 44% en 2040, proporcionando dos tercios (67%) del incremento de demanda energética registrado en ese periodo [6].

Sin embargo, aunque es menos conocido, el desarrollo de las energías renovables también fue impulsado por la Guerra de los 6 días (1973), conflicto entre Israel y la República Árabe Unida, la cual usó armas facilitadas parcialmente por Estados Unidos. Esto indignó al resto de países vecinos productores de petróleo, iniciándose así un bloqueo por parte de la *Organización de Países Exportadores de Petróleo* (OPEP) que duraría 6 meses. Este acontecimiento llevó consigo una breve crisis y un decremento considerable del consumo de estos fósiles, ya que la economía mundial dependía del petróleo suministrado por países de Oriente Medio. El crudo se revalorizó hasta en un 300%, lo cual animó a los países dependientes de dicho combustible en la adopción de una política energética alternativa y menos dependiente energéticamente.

2.1.1 Las energías renovables en el ámbito nacional

En el año 2020, según estudios de la *Red Eléctrica de España* (REE) [7], el 44% de la generación de energía en España fue de origen renovable, posteriormente, en 2021, subió a un 51,5%, posicionándola como la cuarta nación dentro de la *Unión Europea* (UE) con mayor generación de energía de procedencia renovable, por lo que se considera una alternativa sostenible a nivel nacional. En el Gráfico 2-1 y Gráfico 2-2 se puede apreciar gráficamente tanto dicha producción y evolución a lo largo de las dos últimas décadas, como su aportación al consumo energético global de España.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) también subraya la importancia de las energías renovables a nivel nacional, ‘El papel de las energías renovables en alcanzar la seguridad energética es clave, a la vez de su evidente contribución a la descarbonización del sistema energético. En España, el indicador permite el seguimiento de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética y del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.’ [8].

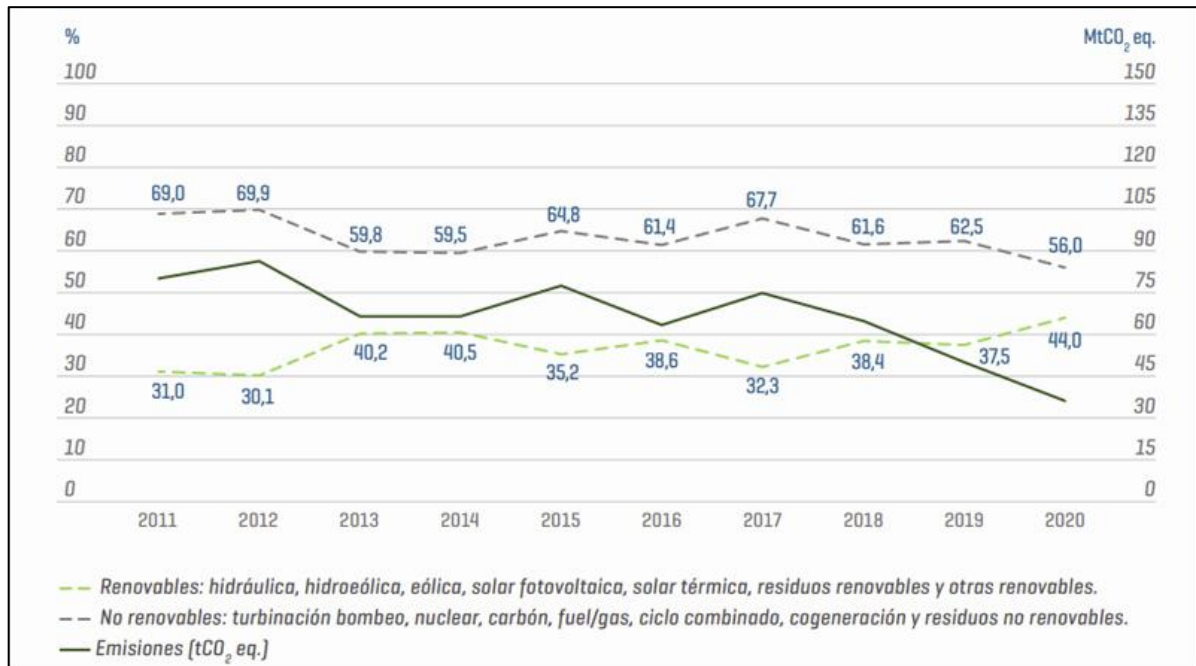


Gráfico 2-1 Evolución de la generación renovable/no renovable y emisiones de CO2 equivalentes asociadas a la generación de energía eléctrica (en porcentaje y Mt CO2 eq) [7].

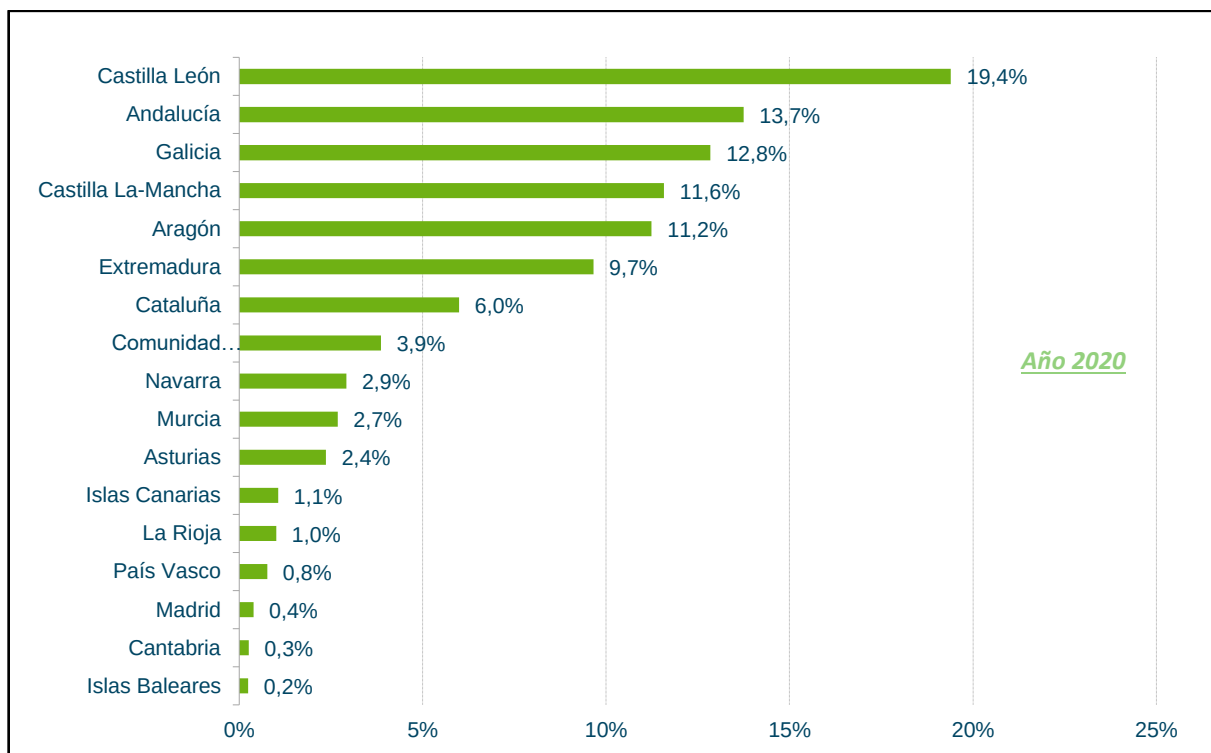


Gráfico 2-2 Potencia renovable por CC.AA. sobre la energía renovable nacional del año 2020 [7].

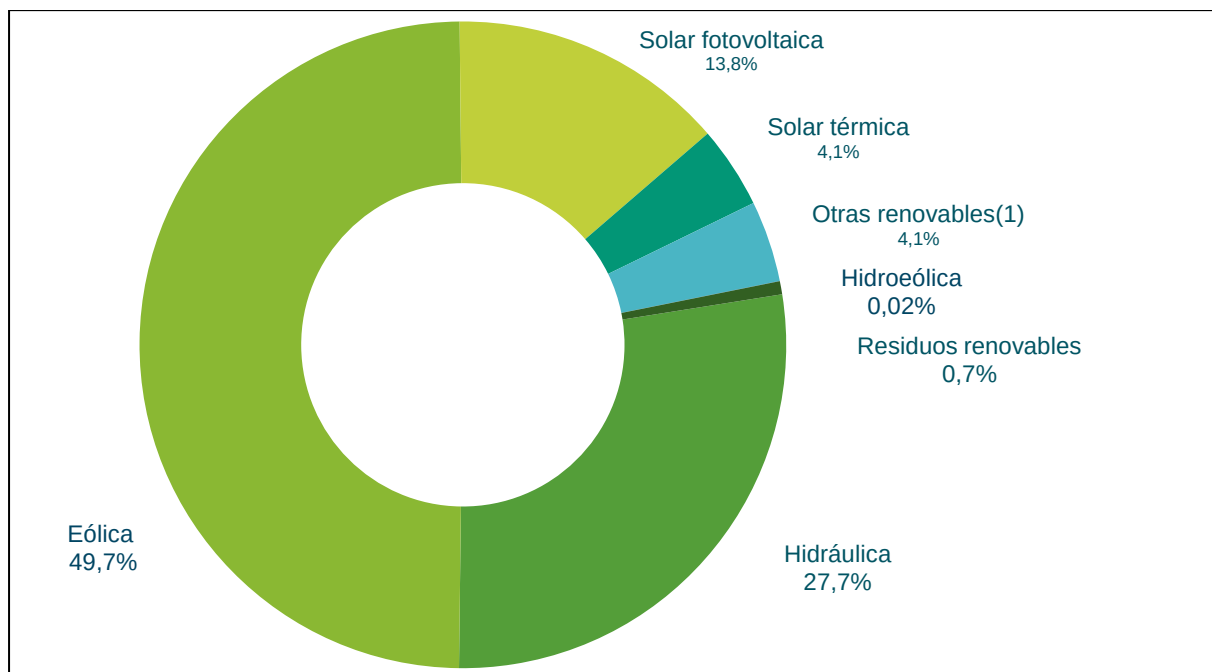


Gráfico 2-3 Distribución de energías renovables durante el año 2020 en España [7].

Se puede apreciar que en España el uso de las energías renovables ha ido aumentando hasta un 15% a lo largo de la última década (ver Gráfico 2-1). Este desarrollo ha sido llevado a cabo mayormente por CC.AA. como Castilla León, Andalucía o Galicia (Gráfico 2-2), siendo predominante la contribución eólica o hidráulica (Gráfico 2-3), gracias al alto porcentaje de medios que se disponen para su generación, reflejado en los parques eólicos y presas que se encuentran distribuidos por todo el país.

2.1.2 Ventajas e inconvenientes de las energías renovables

El marco de ventajas que generan estas energías es amplio, a continuación, se comenta alguna de ellas:

- Potenciador del autoconsumo: Este tipo de energías contribuye a la autonomía y autosuficiencia energética a largo plazo, lo cual resulta rentable para el usuario, en comparación con el consumo de energía primaria, la cual varía en función de los precios e impuestos de uso. En un futuro no muy lejano, los edificios deberán ser suministrados, ya sea parcial o totalmente, por placas solares, calderas de biomasa y/o con puntos de recarga para vehículos eléctricos, alguna de estas medidas las vemos ya en la actualidad.
- Beneficiosas para con el medioambiente: La razón principal de la existencia de este tipo de fuente energética, como su nombre indica, es para ser respetuosos con el medio ambiente, ya que aparte de no generar emisiones, tampoco se generan residuos contaminantes a largo plazo.
- Accesible: Fáciles de instalar y adaptar, esto las hace prácticamente viables para cualquier localización.
- Independencia energética: Particularmente, en España, la ausencia de combustibles fósiles es conocida, lo cual está ligado a un continuo suministro por parte de un país externo, y, por ende, la dependencia de este. Por el contrario, España es rico en los recursos naturales necesarios para generar energía limpia, por lo cual, la importancia de promover estas energías es relevante ante el paradigma de la compra y dependencia energética de un país externo.
- Opinión pública: Actualmente y debido a la transición progresiva hacia una sociedad más ecológica, el uso de energías renovables es cada vez más reconocido y mejor visto por la sociedad.

- Ilimitadas: Al proceder de una fuente natural, en mayor o menor medida, estas fuentes son características por poder contar con ellas a tiempo completo, lo cual es determinante en ciertos escenarios.
- Seguridad: Por línea general, las instalaciones de este tipo de suministros, al carecer de residuos que supongan un riesgo para la salud, son indiscutiblemente más seguras.
- Generación de empleo: La proyección ascendente de demanda en este sector a largo plazo será fuente de la generación de empleo.
- Silenciosa: Gran parte de estas alternativas no produce contaminación acústica ya que su generación es silenciosa.

Por otro lado, también presenta ciertos inconvenientes, aunque hoy en día se sabe a ciencia cierta que estos son considerablemente menores, más aún, en comparación con las energías no renovables. Se plantean continuación los inconvenientes que pueden acarrear este tipo de energías.

- Inversión económica inicial: Puede ser de las más determinantes, ya que podría no ser asequible para todo tipo de clientes, pues la rentabilidad no suele llegar a corto plazo.
- Almacenamiento: No siempre disponemos de un suministro instantáneo, normalmente necesita ser almacenada. Para su uso en viviendas, suele trabajar de forma complementaria con un equipo de energía primaria para suplir los picos de demanda.
- Dependencia: De la naturaleza de la propia energía como, por ejemplo, la energía eólica, que no puede generar energía en ausencia del viento, estando atada a la naturaleza de su elemento, por eso es clave el emplazamiento y el tipo de energía a usar según el fin particular del mismo.
- Impacto visual: El uso de equipos de gran volumen o dimensiones, véase presas o parques eólicos, crean un impacto visual elevado.

2.1.3 Tipos de energías renovables

Existen tantas fuentes de energía renovable, como elementos encontramos en la naturaleza, siendo de mayor o menor uso. Adicionalmente, es posible la aplicación de diversas técnicas y métodos de aprovechamiento de una misma fuente, como se puede apreciar en la Tabla 2-1.

Energía	Fuente	Aplicaciones principales
Eólica	Viento	Producir electricidad Bombeo y distribución de agua Refrigeración almacenes
Energía solar	Sol	Sistemas de calefacción y ACS en viviendas Refrigeración Bombeo de agua/riegos Electrificación viviendas rurales
Hidráulica o hidroeléctrica	Ríos y corrientes de agua dulce	Sistemas controlados por válvulas Transmisiones Acumuladores

Biomasa o biogás	Materia orgánica	Producción de energía eléctrica Producción de vapor para sector industrial ACS y calefacción
Geotérmica	Calor contenido en el interior de la Tierra	Calefacción y refrigeración de uso doméstico Calentamiento de agua Secado de productos agrícolas
Mareomotriz	Mareas	Abastecer energéticamente a poblaciones costeras Suministro de energía a las industrias de forma constante Electricidad para embarcaciones
Bioetanol y Biodiesel	Fermentación de productos vegetales	Combustible orgánico para automoción

Tabla 2-1 Tipos de energías renovables. Elaboración propia.

2.2 Energía solar

2.2.1 ¿Qué es la energía solar?

Dentro de las energías renovables, la energía solar es aquella que aprovecha las distintas propiedades del sol (luz, calor y rayos ultravioleta) para la generación de electricidad o energía térmica; para ello hacen uso de paneles solares, también conocidos como captadores o colectores solares. Los avances tecnológicos en este campo han transformado la energía solar en una de las más eficientes de este sector, es por eso por lo que atrae la inversión, la generación de empleo y el aumento de la competitividad de las empresas.

Se trata de una ciencia milenaria que ya era estudiada por civilizaciones antiguas como Mesopotamia, Egipto o Roma, y que, hoy día, permite hacer algo tan natural como hacer uso de la ducha con agua caliente.

Aunque inicialmente este aprovechamiento se producía de forma inconsciente y pasiva, fueron los griegos los primeros en utilizar la energía solar de forma razonada, construyendo casas en base a la dirección de los rayos del sol, dando origen a la arquitectura bioclimática. Otro tipo de uso fue el que le dio Arquímedes, que desarrolló, entre sus inventos militares, un sistema para incendiar las naves enemigas a base de espejos ustorios que concentraban la radiación solar en un punto, subiendo así considerablemente su temperatura.

Es en 1767 cuando nace la energía solar térmica como tal, cuando el científico suizo *Horace Bénédicte De Saussure*, inventó el helio-termómetro, capaz de medir la cantidad de radiación solar. Posteriormente, en 1865 el francés *Auguste Mouchout* crea la primera máquina capaz de transformar la energía solar en energía mecánica que, mediante un colector solar, aportaba con vapor a presión la energía suficiente para mover un motor.

Sin embargo, este recurso fue perdiendo importancia alrededor de 1950, con el descubrimiento de los combustibles fósiles; ya que, al ser una fuente nueva, su explotación era más económica. El bajo precio del carbón puso hizo que la energía solar se mantuviese en un segundo plano hasta mediados de los años 70, cuando volvió a tener un lugar destacado tras la subida de precio de estos combustibles y las emisiones que generaban [9].

2.2.2 Tipos de energía solar

Dentro de este amplio campo de estudio, podemos diferenciar 2 tipos fundamentales de energía solar, distinguidas según su funcionamiento:

1. Energía solar activa: Necesita de un equipo complementario que transforme la energía solar en calor o electricidad, normalmente por captadores solares [10]. Diferenciamos 2 técnicas principalmente:
 - 1.1. Energía solar fotovoltaica: Permite la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica mediante paneles solares llenos de células fotovoltaicas, compuestas de material semiconductor como el silicio, los cuales permiten la transformación de la luz solar (fotones) que incide en el colector, creando así una corriente eléctrica.
 - 1.2. Energía solar térmica: Esta técnica aprovecha la radiación solar incidente (calor) en captadores térmicos a fin de transmitir ese calor al agua del sistema de ACS o calefacción.
2. Energía solar pasiva: Técnica de aprovechamiento mediante un conjunto de técnicas de construcción que puede transformar el calor y utilizarlo sin necesidad de otros dispositivos complementarios. Esta técnica permite optimizar todo el calor accesible a través de la luz que entra por las ventanas, el generado por electrodomésticos o incluso el calor corporal de los individuos dentro de la vivienda [11].

Particularmente, los captadores solares son un ejemplo de energía solar activa que emplea la técnica solar térmica. Dado que con este proyecto se propone la instalación de dichos paneles, se cree conveniente la dedicación de un apartado exclusivo para esta rama solar, que se encuentra a continuación.

2.3 Energía solar térmica

La energía solar térmica asienta sus bases de funcionamiento de una forma relativamente sencilla; almacenar la energía solar mediante colectores solares para poder distribuirla posteriormente a través de un fluido caloportador.

La selección de una configuración adecuada es clave para su adaptabilidad a las necesidades del usuario y el rendimiento del sistema. Según la demanda energética requerida, el sistema contará con una serie de equipos y componentes particulares.

2.3.1 Sistema de calefacción y ACS

Actualmente, las instalaciones térmicas orientadas a la vivienda suelen ser, por normal general, para uso de sistemas de calefacción y ACS, funcionando mediante un intercambio de energía. Aunque cumple el mismo fin que la calefacción convencional, este sistema contribuye con el medioambiente, pues utiliza la energía del sol para su funcionamiento, tal y como se observa en la Figura 2–1, suponiendo una optimización económica a largo plazo, pues la durabilidad de estos sistemas es aproximadamente de entre 25 y 30 años, permitiendo la reducción parcial o total del uso de energía primaria mediante combustibles como el gas, el propano, el butano, etc. [12].

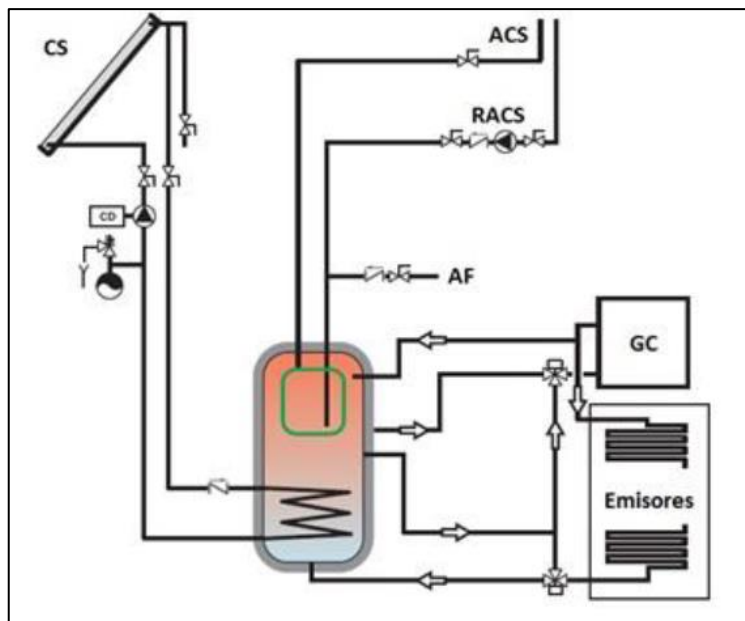


Figura 2-1 Esquema de instalación solar de ACS y calefacción [13].

En toda instalación de este tipo deberían tenerse en cuenta factores como:

- Temperatura del ambiente: La temperatura del ambiente es proporcional al grado de eficiencia del sistema.
- Tipo y cantidad de paneles seleccionados.
- Configuración de los paneles.
- Tipo y calidad del sistema.

Por otro lado, tanto para sistemas de calefacción como para consumo de ACS, podemos distinguir entre 3 tipos de instalación según las necesidades a cubrir:

- Instalación de baja temperatura: Calienta alrededor de 80°C.
- Instalación de media temperatura: Calienta alrededor de 250°C.
- Instalación de alta temperatura: Calienta alrededor de 1.000°C.

A su vez, las temperaturas de trabajo de las diferentes demandas térmicas de los edificios se pueden resumir aproximadamente en:

- Agua caliente sanitaria entre 40 y 60°C.
- Aire ambiente de calefacción entre 20°C y 25°C.

Analizando las instalaciones que transfieren calor mediante intercambio agua-agua o aire-aire, los equipos más habituales son:

- Calefacción: Suelo o techo radiante, fancoils o climatizadores y radiadores que pueden ser abastecidos por circuitos de agua con temperaturas entre 40 y 90°C.
- ACS: Se utilizan intercambiadores de calor con temperaturas entre 40 y 90°C.

Ha de tenerse en cuenta que estas temperaturas afectan a los generadores de calor, disminuyendo el rendimiento, por lo que cuanto menos diferencia de temperatura exista entre los fluidos de trabajo, más eficiente será la instalación y menor será el coste. En caso de calefacción, el uso de emisores de baja temperatura, véase suelos radiantes o fancoils, asegurarán el máximo rendimiento de la instalación.

2.3.2 Refrigeración

De forma similar a los sistemas de calefacción y ACS, los sistemas de producción de frío para la refrigeración de edificios son mayormente realizados por equipos eléctricos de compresión mecánica.

La demanda de estos equipos se concentra durante las horas del mediodía y principio de la tarde, alcanzando su pico normalmente durante la época de verano; que es a su vez, la época de mayor disponibilidad solar, lo que hace bastante atractiva la idea de instalar un equipo térmico de estas características para suplir energéticamente dicha demanda de refrigeración.

Los principales sistemas de refrigeración actuales son sistemas cerrados con equipos de absorción o adsorción:

- **Absorción:** Estos equipos (Figura 2–2) producen agua fría a partir del calor aportado por la energía solar a través de un fluido caloportador. En este circuito existe una mezcla absorbente-refrigerante que es separado mediante evaporación, a baja presión y temperatura, que permite absorber la energía de vaporización (robar el calor del medio), produciendo así el efecto de refrigeración (7°C). Posteriormente es mezclado mediante condensación, disipando el calor intercambiado (30°C). Dependiendo de las temperaturas del medio y la que se requiere, utilizaremos un par absorbente u otro: Bromuro de litio-Agua, Agua-Amónico, etc.

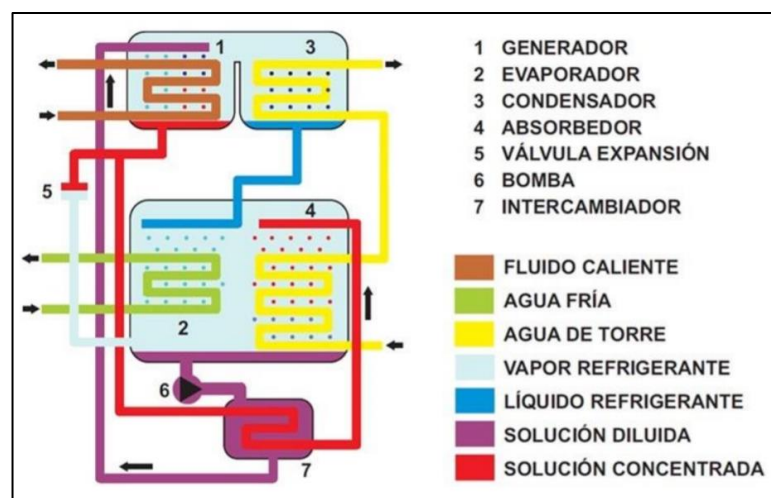


Figura 2–2 Sistema de absorción [13].

- **Adsorción:** Este equipo (Figura 2–3) usa un cuerpo sólido absorbente y altamente poroso, como el gel de sílice, que atrae el refrigerante, como el agua, condensándose y quedando retenido en forma líquida dentro del poro; al evaporarse el agua absorbe el calor del fluido a enfriar que circula por el circuito de distribución. El calor proporcionado regenera la superficie porosa aumentando su temperatura y presión, lo cual permite la separación del refrigerante y el absorbedor.

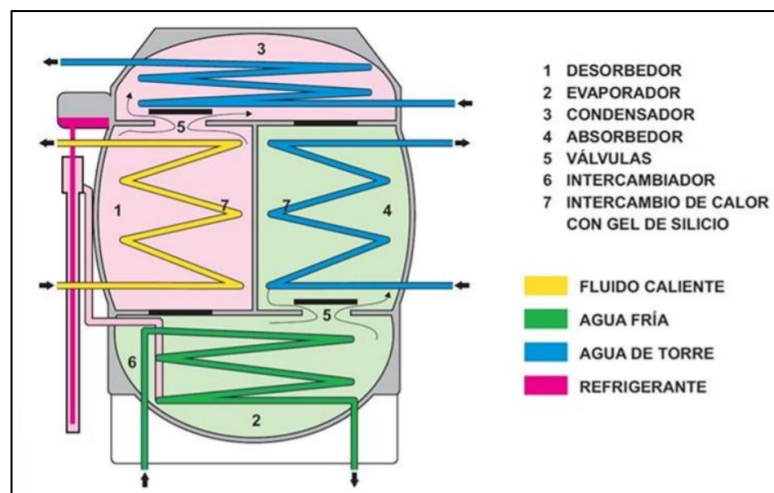


Figura 2–3 Sistema de adsorción [13].

2.4 Normativa

A lo largo de los años, el compendio de documentos vinculantes a los requisitos técnicos que deben cumplir las distintas instalaciones térmicas ha ido evolucionando de tal forma que garantice unos estándares mínimos relacionados con la seguridad, la salud y la sostenibilidad. Adicionalmente, esta reglamentación ha ido ampliándose a nivel nacional con el objetivo de no depender de la legislación europea. A continuación, se muestra una relación de normativa vigente en el área de la edificación. Este listado no pretende ser exhaustivo de toda la normativa sino más bien una aproximación a partir de aquellas disposiciones de mayor relevancia:

- Ley de Cambio Climático y Transición Energética: Establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático, vigente desde 2021. [4]
- Ley de ordenación de la edificación (LOE): Regula en sus aspectos fundamentales lo vinculante al proceso de la edificación en España, vigente desde el año 2000, que actualiza la legislación hasta la fecha. [13]
- Código Técnico de la Edificación (CTE): Documento que engloba las exigencias de seguridad y habitabilidad relacionadas con la construcción de un edificio, última actualización en 2019. Compuesto por los siguientes Documentos Básicos (DB): [14]
 - DB SE: Seguridad estructural, compuesto a su vez de los siguientes documentos:
 - DB SI: Seguridad en caso de incendio.
 - DB SUA: Seguridad de utilización y accesibilidad.
 - DB HE: Ahorro de energía.
 - DB HR: Protección frente al ruido
 - DB HS: Salubridad
- Directiva 2010/31/UE: Fomenta la eficiencia energética de los edificios de la UE, considerando factores como las condiciones climáticas exteriores o las particularidades locales, las exigencias ambientales interiores o la rentabilidad en términos coste/eficacia. 2010. [15]
- Pliego de Especificaciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Térmica a Baja Temperatura: Elaborada por la Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía (SODEAN) con la colaboración de IDAE y CENSOLAR. Su finalidad es establecer las condiciones técnicas que deben tomarse en consideración para la promoción de instalaciones de Energía Solar Térmica en el ámbito del Plan de Energías Renovables. Revisado en 2009. [16]
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE): Condiciones que deben cumplir las instalaciones de calefacción, climatización y ACS. Actualizada y revisada en 2021. [17]
- DE HE: Documento Básico englobado dentro del CTE relacionado con la contribución solar mínima de ACS. Actualizado en 2019 junto con el CTE. [18]

- Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y ACS en edificios y viviendas: Documento que sirve de apoyo a los responsables de los servicios energéticos en el ámbito de la edificación para realizar un uso más eficiente y económico de las instalaciones centralizadas de calefacción y ACS. 2008. [19]

2.5 Componentes y materiales

La selección de los componentes y sus materiales es importante a la hora de elegir un tipo u otro de instalación, ya que, en base a estos parámetros, se garantizará de forma óptima la adaptación del sistema a las condiciones de uso y su fiabilidad a lo largo del tiempo.

Una instalación térmica se divide en múltiples circuitos, sistemas y elementos, según la función de cada uno de ellos. Los componentes básicos dentro de una instalación solar térmica son los siguientes [20].

2.5.1 Circuitos

- Primario: Aquel que transporta la energía térmica del campo de colectores.
- Secundario: Aquel que calienta el sistema de acumulación de consumo humano.
- De carga: Aporta calor al acumulador de inercia.
- De descarga: Extrae el calor del acumulador de inercia.
- De consumo: Comprende desde la entrada de agua fría hasta la salida de agua caliente del sistema de apoyo.
- De distribución: Comprende desde la salida de agua del sistema de apoyo hasta los puntos de consumo.
- De recirculación: Canaliza el circuito de retorno desde los puntos de distribución hasta el sistema de apoyo.

2.5.2 Sistemas

- Sistema de captación: Formado por los captadores solares, se encarga de recolectar la radiación solar incidente para aumentar la temperatura del fluido caloportador que circula por el circuito primario.
- Sistema de acumulación: Almacena la energía térmica hasta que se necesite su consumo, existen 2 tipos:
 - Acumulador de inercia: Usa un fluido intermedio, normalmente agua, en un circuito cerrado que no se consume.
 - Acumulador de consumo: Contiene agua para consumo humano permanentemente.
- Sistema de intercambio: Compuesto por aquellos circuitos que transfieren la energía al sistema de consumo, ya sea de forma directa mediante un solo intercambiador, o bien indirecta, usando 2 intercambiadores intercalados por un acumulador de inercia, dando lugar a dos tipos de intercambio:
 - De carga: Transferencia de energía del circuito primario al de carga, o en su defecto, al circuito secundario.
 - De descarga: Transferencia de energía del acumulador de inercia al agua de consumo.
- Sistema de apoyo: Equipo que suministra el calor complementario para suplir el total de demanda energética.
- Sistema de consumo: Como su nombre indica, sistema basado en el conjunto de circuitos y subsistemas que permiten el consumo de esa energía, tales como grifos, distribuidores, duchas, etc.
- Sistema de interconexión: Formado por tuberías, válvulas, bombas y demás accesorios que permiten una correcta distribución de la energía hasta el consumidor.

- Sistema de control: Sistema encargado de coordinar el funcionamiento de los distintos elementos electromecánicos a lo largo de la instalación, como el arranque y parada de bombas o la apertura y cierre de válvulas.

2.5.3 Elementos

- Captador: Es el elemento principal de todo el sistema y generador del calor de la instalación, de tal forma que transforma la radiación en energía que suministra al fluido caloportador, elevando su temperatura. Este elemento debe estar diseñado para soportar su continua exposición al medio (precipitaciones, temperaturas extremadamente bajas o altas, polvo, etc.). En base a este dato, existen varios tipos de captadores:

○ Planos: Su funcionamiento se basa en el efecto invernadero, pues aprovecha el diseño y propiedades de la cubierta solar, normalmente de vidrio, para permitir el paso de la radiación e impedir que esta salga ya que es opaca frente a la radiación, calentando así el absorbedor que contiene el fluido de trabajo (ver Figura 2-4)

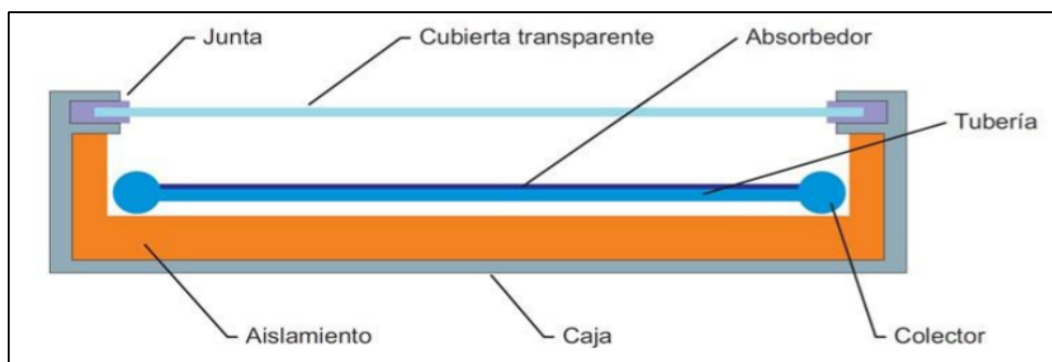


Figura 2-4 Captador solar plano [13].

- De vacío: Este tipo de captador está compuesto por un conjunto de tubos de vacío conectados hidráulicamente a un distribuidor. El sistema distribuidor del fluido a calentar se encuentra encapsulado en un tubo de vidrio que hace de cubierta y envoltorio exterior, donde se hace vacío, reduciéndose así las pérdidas térmicas de convección y conducción. El nivel de vacío es fundamental en este tipo de captador, ya que afecta directamente a la efectividad del mismo y la reducción de pérdidas térmicas.

Existen varios tipos de captadores de vacío, entre los que se destacan los de calor o *heat-pipe* (Figura 2-5), los tubos concéntricos o “en U” (Figura 2-6) o los concéntricos de flujo directo (Figura 2-7) mostrados a continuación:

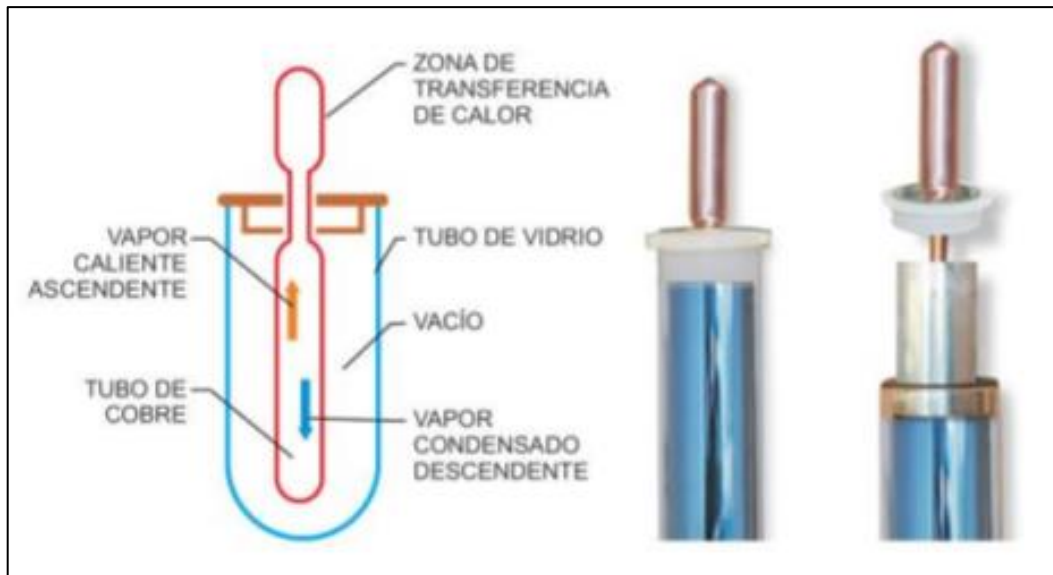


Figura 2-5 Captador de vacío de tubos de calor [13].

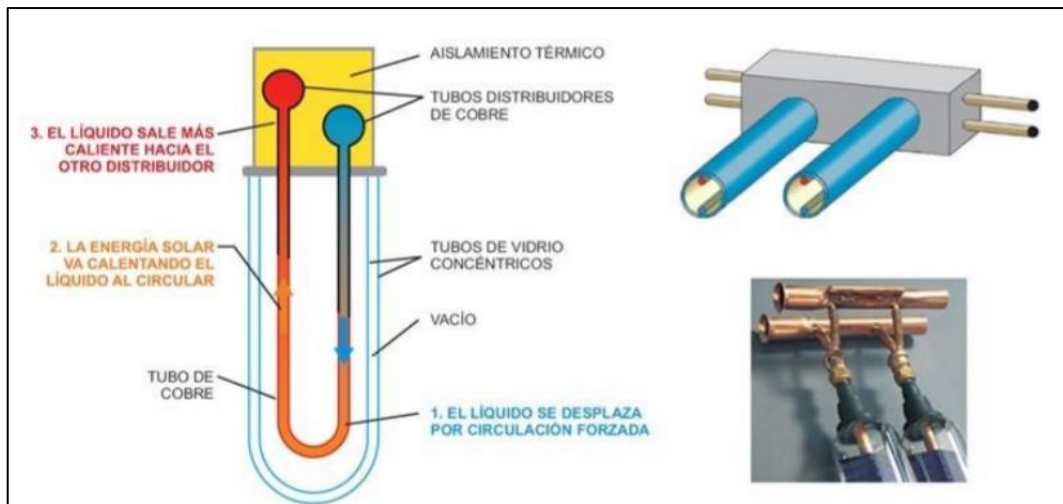


Figura 2-6 Captador de vacío con tubos concéntricos o "tubo en U" [13].

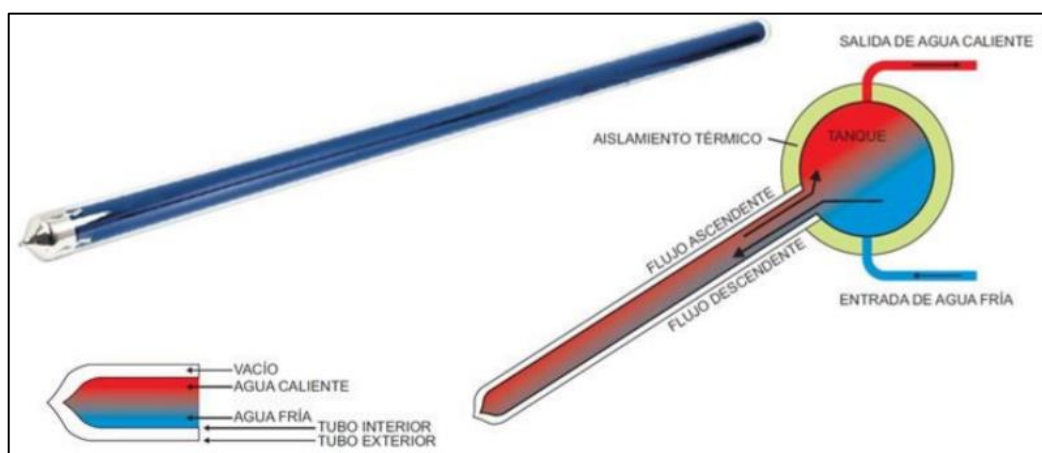


Figura 2-7 Captador de tubos de vacío de flujo directo [13].

Es posible encontrar otros tipos de captadores, aunque estos son los mas comunes en instalaciones solares para ACS. Su diseño parte originalmente de un captador plano (Figura 2-4), el cual se va modificando en base a las prestaciones requeridas. Tal y como se presenta en la Figura 2-8, entre ellos se encuentran los captadores sin cubierta, con varias cubiertas, con cubierta *Transparent Insulating Materials (TIM)*, captadores de concentración cilindro-parabólico compuesto (CPC), planos de vacío o híbridos.

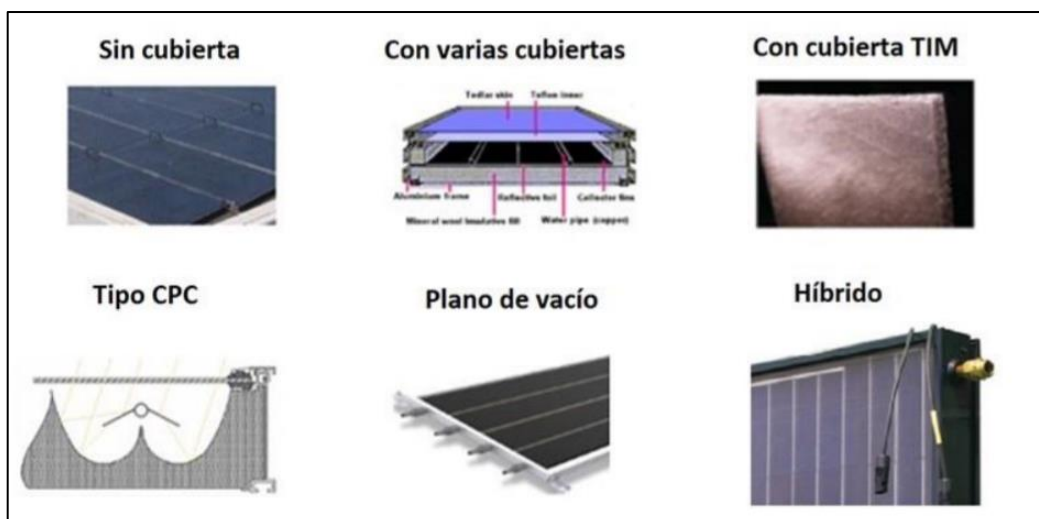


Figura 2-8 Otro tipo de captadores solares [13].

- **Acumuladores:** Se trata de recipientes a presión que, como su nombre indica, acumulan el agua caliente para su posterior distribución (Figura 2-9). Pueden tener incorporados uno o varios intercambiadores de calor, con lo cual pasarán a llamarse einteracumuladores. Estos acumuladores deben ser aptos para su uso con agua para consumo humano, por lo que deberán cumplir con los requisitos comprendidos en las Directivas Europeas de ecodiseño, relacionados con el *Energy Related Products (ErP)* para reducir el impacto ambiental que estos producen, y a su vez, con el etiquetado de regulado energético (ELD), relacionado con los requisitos de consumo energético.

Al igual que los captadores, existen diversos tipos de acumuladores, la mayoría parten de la base de un acumulador solar de agua, los cuales van modificándose según cada caso particular.

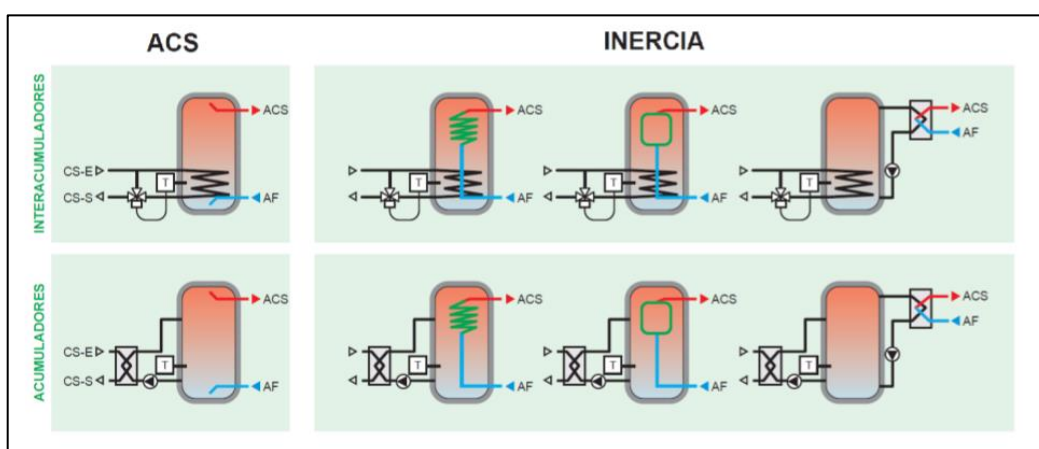


Figura 2-9 Tipos de acumuladores e interacumuladores de ACS e inercia [13].

Reseñar que debe realizarse una evaluación de las pérdidas térmicas de un acumulador, según la normativa vigente, para ello, se necesita recubrir la envolvente del mismo con un material aislante, ya

sea aluminio, chapa lacada, poliéster, etc, de forma que evite así su deterioro debido a factores como la humedad, la radiación solar, aves, etc.

- **Intercambiador de calor:** Elemento que transfiere calor de un medio a otro siguiendo las leyes naturales de la termodinámica, donde el calor abandona el cuerpo o fluido más caliente hacia el más frío, siempre que haya un gradiente de temperatura. Estos equipos no tienen porqué ser el mismo, ni estar a la misma presión ni temperatura, por lo que deberán de estar preparados para trabajar en condiciones extremadamente adversas. Por ello, siendo un elemento relevante en el funcionamiento de una instalación térmica, deben escogerse adecuadamente, sus materiales, que deben ser capaces de limitar las pérdidas de carga, vigilar que no se ensucien y pierdan efectividad, etc. [21].

Hay principalmente 2 tipos de intercambiadores, externos e internos, dependiendo de si están integrados o no en el acumulador. Dentro de estos grupos, existen de diversos tipos [22] (algunos de ellos mostrados en la Figura 2–10) según la finalidad del mismo, pudiendo ser:

- **Según el contacto entre fluidos:** Directos o indirectos dependiendo de que haya contacto o no entre los fluidos (no se mezclan en ningún momento).
- **Según su configuración:** De flujo en paralelo, contracorriente, flujo combinado o flujo cruzado.
- **Según su composición:** De sepentín, de superficie raspada, de placas soldadas, de tubos con coraza, multitubulares, de espirales, de placas con juntas, etc.



Figura 2–10 Diversos tipos de intercambiadores de calor [13].

- **Bomba de circulación:** Este elemento electromecánico nos permite distribuir el fluido a lo largo de la instalación. Reseñar que las bombas del circuito primario deberán ser compatibles con las mezclas anticongelantes y los fluidos de trabajo. En circuitos de ACS, los materiales deberán ser resistentes a la corrosión y a la cal. Las bombas de estas instalaciones podrán ser de tipo en línea de rotor húmedo o rotor seco (Figura 2–11).
- **Rotor húmedo:** Permiten que el agua acceda hasta el rotor, haciendo de refrigerante interno.
- **Rotor seco:** Las piezas que tienen contacto con el fluido se encuentran separadas del motor, sellando mecánicamente el lugar donde se encuentran unas con otras.



Figura 2–11 Bomba de rotor seco (izquierda) y rotor húmedo (derecha) [23] [24].

- Tuberías: Elementos de distribución de fluido por toda la instalación, pudiendo ser de cobre, de acero negro o acero inoxidable compatible con el fluido de trabajo.
- Vasos de expansión: Permiten absorber los incrementos de volumen debido al aumento de temperatura del sistema, además de mantener la presión del circuito bajo límites admisibles. En instalaciones solares deberá ser siempre cerrado (Figura 2–12), y en caso de ser instalado a la interperie, deberán ser diseñados para tal cometido.



Figura 2–12 Vaso de expansión cerrado [25].

- Válvulas y accesorios hidráulicos: Estos elementos (Figura 2–13) permiten frenar, inciar, detener o regular el flujo de fluido, teniendo un control el flujo y la presión de la totalidad del circuito. Existen varios tipos de válvulas, entre las que destacan de corte, de seguridad, antirretorno, de regulación, de presión diferencial, mezcladora, de llenado automático o de medida.



Figura 2–13 Distintos tipos de válvulas [26].

3 INSTALACIÓN SOLAR

Este capítulo comenzará con la descripción del edificio objeto de estudio, detallando sus características principales, dimensiones, habitabilidad y sistema actual con el que cuenta para suplir la demanda de calefacción y ACS. Posteriormente, se realizará una estimación aproximada de demanda energética en base al DBHE, documento comprendido en el CTE, referido al ahorro de energía, de tal forma que la superficie solar pueda contribuir al sistema actual. Adicionalmente se usará una herramienta de cálculo para realizar un dimensionamiento básico de la instalación. Por último, se estimará una demanda adicional de refrigeración para la sala sureste de la biblioteca del mismo cuartel.

3.1 Descripción del edificio

3.1.1 Generalidades del cuartel de alumnos “Francisco Moreno”

El cuartel de alumnos “Francisco Moreno” está situado en la Escuela Naval Militar (ENM) (Figura 3–1), emplazada al sur de Galicia, en las conocidas Rías Baixas; concretamente en la villa de Marín, provincia de Pontevedra, próxima a ciudades como Santiago de Compostela, Vigo o A Coruña. Sus coordenadas geográficas son:

- Latitud: 42°23′44.9″N
- Longitud: 008°42′29.3″W

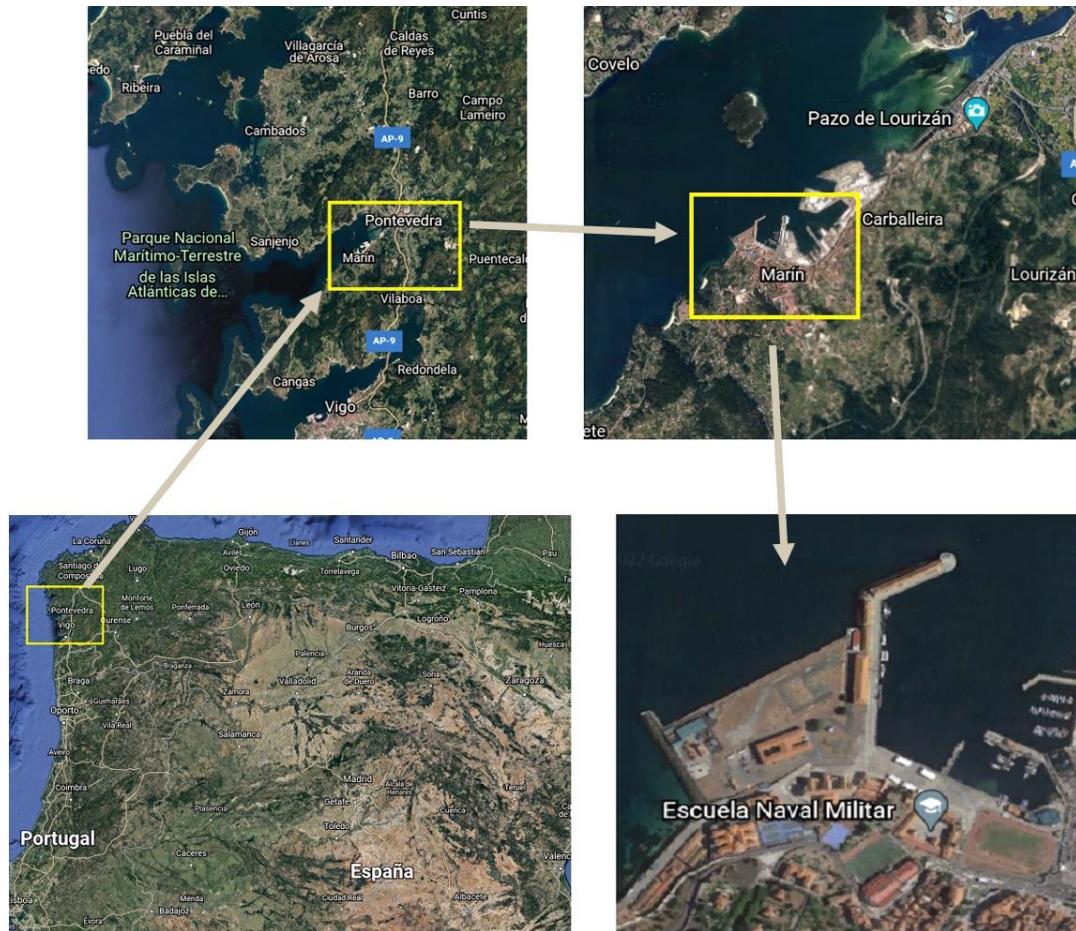


Figura 3–1 Geolocalización de la ENM.

Se trata de un edificio multivivienda, similar a una residencia, que cobija a la mayoría de los más de 400 alumnos que forman el Batallón de Alumnos de la ENM, permaneciendo en dichas instalaciones durante un tiempo medio de 5 años, en los cuales se forman como futuros oficiales de la Armada Española e ingenieros mecánicos. El cuartel fue contruido en 1977, lo cual es considerablemente anterior a la implantación de documentos como el *RITE* o *CTE*, careciendo, por ende, de las cualidades, elementos y sistemas que se pueden encontrar en la edificación actual. A lo largo de su historia, ha sido modificado en distintas ocasiones, con el fin de ir modernizando dichas propiedades, destacando a continuación las de mayor relevancia, facilitadas por el Destino de Mantenimiento de la ENM:

- 1987: Remodelación de baños y escalera central del hall principal.
- 2004: Remodelación de camareras y estudios de ambas plantas, modificación del sistema de calefacción y servicio ACS.
- 2010: Construcción de la biblioteca de alumnos Gabriel Císcar y Císcar, situada en la cara sur de la planta baja del edificio. Sustitución de la caldera de gasóleo por la actual caldera de gas.
- 2019: Renovación inmobiliaria de camareras y estudios.

El cuartel es un edificio en forma de “H”, orientada al 070° NE. Consta de una planta baja con zonas comunes, zona interior de ejercicio, sala de calderas y distintos módulos de mantenimiento, 2 plantas habitables, las cuales envuelven un patio interior entre las caras NO y SO. Cuenta con 4 pasillos por planta, 2 en la cara norte y otros 2 en la cara sur, donde se encuentran tanto los estudios como los dormitorios y los baños de los alumnos (Figura 3–4). En la parte central, existe una zona común, conocida como “hall”, zona de tránsito y acceso a las dependencias, como se aprecia en la Figura 3–2.

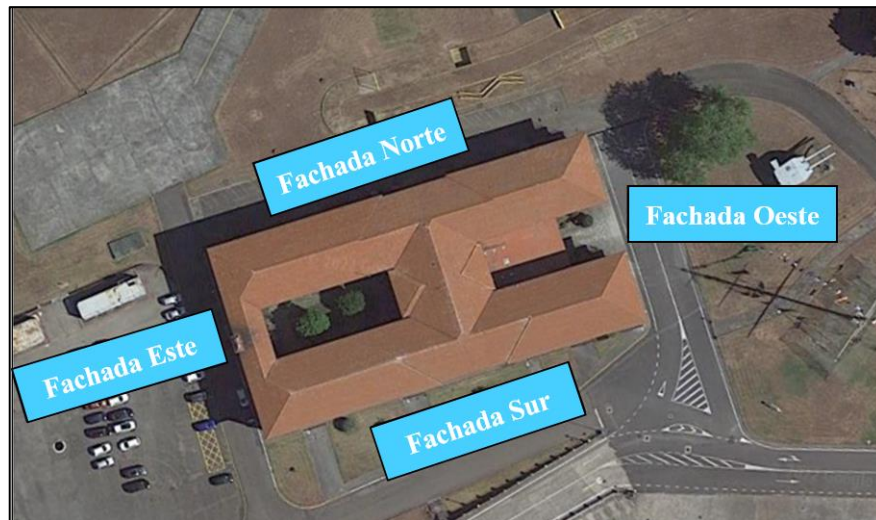


Figura 3-2 Orientación del cuartel Francisco Moreno.

Concretamente, cada pasillo cuenta con 22 habitaciones de 4 personas, 11 salas comunes de estudio para 8 personas y 2 zonas de aseo, una en la parte central y otra al final del pasillo de la cara Oeste. Esto hace un total de 88 habitaciones, con capacidad de acoger a 176 personas por planta y un máximo de 352 alumnos; 44 zonas de estudio y 8 zonas de aseo. Adicionalmente, la planta baja cuenta con el hall principal, zona de tránsito y acceso común al cuartel, donde se encuentra la biblioteca y 2 pequeños módulos usados para montar los distintos puestos de guardia. En la Figura 3-3 se puede observar dicha disposición.

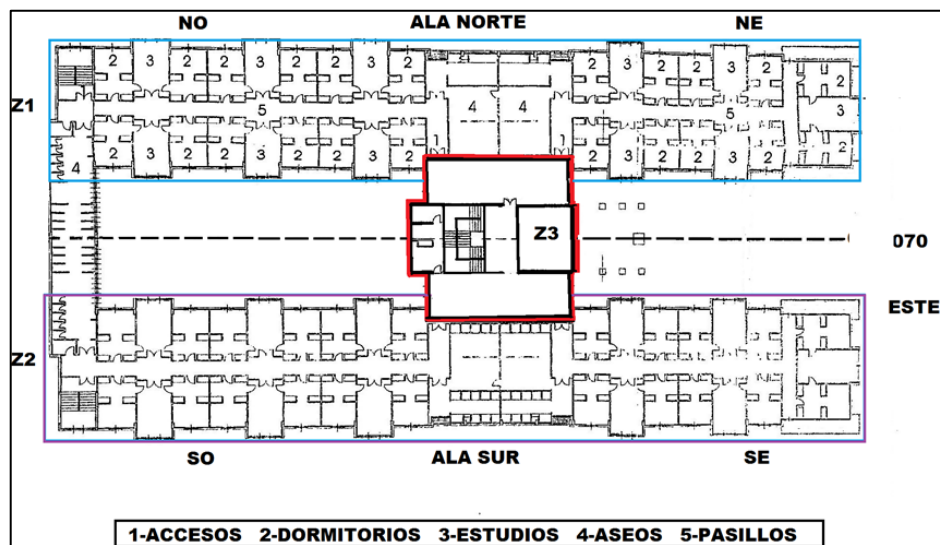


Figura 3-3 Disposición del cuartel Francisco Moreno [27].



Figura 3-4 Cuartel Francisco Moreno. Dependencias.

Por otro lado, cabe destacar que la inmensa mayoría del Batallón de Alumnos vive en régimen de internado, ya que aparte de cursar el grado de ingeniería, también realizan las actividades relacionadas con su condición de personal militar, lo cual significa que el uso de las instalaciones es prácticamente de forma continua, siendo tanto la ocupación como la actividad del personal factores para tener en cuenta a la hora de realizar el dimensionado de la instalación.

3.1.2 Sistema actual de calefacción y ACS

El sistema actual de calefacción y ACS del cuartel de alumnos cuenta con 2 calderas de gas natural, las cuales sustituyeron en 2010 al sistema anterior que contaba con una caldera de gasoil; se encuentran situadas en la sala de calderas, en la fachada Oeste del edificio.

Se trata de 2 calderas de la marca BAXI ROCA, modelo TECNIO-50-GM (Figura 3-5), progresiva en dos etapas y capaz de generar 580 kW de potencia nominal cada una, obteniendo una potencia máxima de 1044 kW útiles en caso de trabajar de forma conjunta, ya que su modo de trabajo incluye la individual y/o la mixta. Adicionalmente la instalación principal cuenta con:

- 2 acumuladores de agua de 3.000 litros de capacidad, uno por cada quemador (Figura 3-6).
- 2 intercambiadores de calor de placas (Figura 3-7).
- 1 grupo de control automatizado (Figura 3-8).
- 2 colectores, uno para el bombeo y otro para recirculación del circuito (Figura 3-9).
- 5 bombas que forman el grupo principal de bombeo de la instalación (Figura 3-9).
- 4 vasos de expansión (Figura 3-9).

A continuación, se muestran gráficamente los diferentes elementos del sistema de calefacción y ACS, seguido de las características técnicas de las calderas (Tabla 3-1):

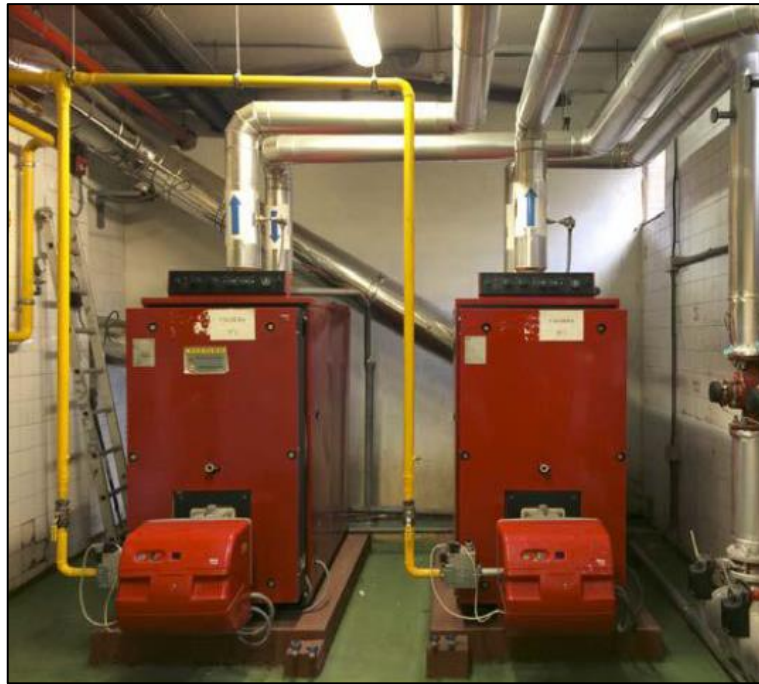


Figura 3-5 Sala de Calderas. Calderas BAXI ROCA modelo TECNO-50-GM.



Figura 3-6 Sala de Calderas. Acumuladores.



Figura 3-7 Sala de Calderas. Intercambiadores de calor.



Figura 3-8 Sala de Calderas. Grupo de control.



Figura 3–9 Sala de Calderas. Componentes. Bombas de impulsión (arriba izq), colectores (arriba dcha), grupo de presión (abajo izq), vasos de expansión cerrados (abajo dcha).

Dato	PCI (Gas natural)	Pot. Nominal total	Coeficiente de simultaneidad	Pot. Útil total
Valor	9600 kcal/m ³	1160 kW	0,9	1044 kW
Dato	Pot. max. /caldera	Pot. min. /caldera	Caudal max./caldera	Caudal min./caldera
Valor	897 kcal/h	73,1 kcal/h	93,5 Nm ³ /h	7,61 Nm ³ /h
Dato	Presión de alimentación	Presión garantizada en la red		
Valor	22 mbar	1 bar		

Tabla 3-1 Datos técnicos de las calderas del cuartel Francisco Moreno [27].

Adicionalmente, el funcionamiento de la instalación se resume de la siguiente manera:

Sistema de calefacción: El sistema de calefacción trabaja en un circuito cerrado por el que fluye continuamente la misma agua, realizando siempre el mismo proceso de calentado y enfriado. Se calienta mediante las calderas a una temperatura media de trabajo de entre 70°C y 75°C aproximadamente. Cuenta con dos colectores de uso común con el sistema de ACS, cuyas funciones son de acumulación y/o recirculación de dicha agua a la caldera, pasando previamente por los intercambiadores de calor en caso de necesitar un cambio en su temperatura. Todo el fluido de trabajo es bombeado a las distintas plantas del edificio por 3 de las 5 bombas pertenecientes al grupo de bombeo de la instalación (Figura 3–9), y

distribuido mediante radiadores por todo el edificio para dar una temperatura de confort media de entre 20°C y 24°C aproximadamente, pudiendo ser regulada por el autómata perteneciente al grupo de control (Figura 3–8).

Por otro lado, este es un sistema ineficiente debido a su antigüedad, ya que la falta de elementos dinámicos y automatizados, acompañado de las filtraciones presentes en el cuartel hace que haya pérdidas térmicas durante su periodo de funcionamiento, el cual suele ser de 6 meses, de noviembre a mayo según el Servicio de Mantenimiento de la ENM, desactivándose dicho sistema durante los permisos vacacionales de Navidad, Semana Santa y verano. Por el contrario, durante los periodos de trabajo, el horario de trabajo es el siguiente:

- Lunes a viernes:
 - 05:00h a 07:00h.
 - 17:00h a 24:00h.
- Sábado y domingo:
 - 05:00h a 09:00h.
 - 15:00h a 24:00h.

Sistema de ACS: De forma similar al sistema de calefacción, el sistema de ACS hace uso de agua de red propia, proveniente de los tanques emplazados en el sector 7 de la ENM, zona residencial para los Oficiales de la propia escuela. Dicha agua se encuentra a 13°C aproximadamente, la cual, al llegar a la sala de calderas, es tanto mezclada con el agua caliente proveniente de las calderas como calentada mediante los intercambiadores de calor, para ser bombeada hacia los aseos (uso en duchas y grifos) o bien hacia los acumuladores (encontrándose a una temperatura media de 60°C), dependiendo de la existencia o no de demanda de agua caliente.

Cabe destacar que la incesante actividad de los alumnos requiere hacer uso de las duchas y aseos una media de 3 veces al día: al levantarse, a mediodía después de hacer deporte y por la noche. Debido al alto porcentaje de uso de este sistema respecto al de calefacción, el sistema de ACS requiere un mayor estudio y dedicación a lo largo de este trabajo, por ello, la aplicación de la instalación solar se centrará principalmente en cubrir la demanda de ACS, dejando el sistema de calefacción en un segundo plano.

3.2 Metodología para el dimensionado básico del sistema solar para ACS y calefacción

En este apartado se presentan, de manera conceptual, los requerimientos principales relacionados con un sistema de autoabastecimiento; posteriormente, se realizará la metodología para un dimensionado básico de la posible instalación, en base a la demanda prevista por los estándares del DBHE, englobado en el CTE, seguido de la simulación realizada con el software *Calsolar 4*, herramienta para el diseño de instalaciones de energía solar térmica, basado en el método de cálculo de la empresa energética Saunier Duval.

Para calcular el diseño de una instalación solar se parte generalmente de un factor solar necesario o deseado. A partir de ahí, se obtienen la superficie de captación y el volumen de acumulación óptimos desde el punto de vista energético. El programa *Calsolar 4* permite obtener no sólo el factor solar a partir de un número determinado de colectores y un volumen de acumulación concreto, sino el número necesario de colectores para obtener un determinado factor solar a partir de una determinada acumulación.

Así, el programa permite unos cálculos rápidos y próximos a partir de los condicionantes de factor solar impuestos por el CTE y las ordenanzas municipales. Rápido, intuitivo y capaz de generar 3 tipos de memoria en formato Word, *Calsolar 4* dispone de una amplia base de datos meteorológicos y permite, además, añadir nuevas localidades a partir de los ya existentes.

3.2.1 Conceptos teóricos

En este TFG se propone una instalación de colectores solares, dispuestos en los tejados del cuartel, que optimice el ahorro energético global de la instalación actual, en combinación con las calderas, reduciendo su aportación energética. Para ello es necesario obtener una serie de prestaciones dentro de la normativa y los estándares de confort térmico que atiendan a las necesidades requeridas. De forma resumida, los conceptos teóricos se basan en lo siguiente:

Existen 3 tipos de parámetros principales:

- De uso: Definen el consumo y la demanda de energía térmica, la cual depende principalmente del caudal y la temperatura de la entrada y salida de agua fría y caliente de la instalación, y la ocupación de este.
- Climáticos: De su análisis se obtiene el tipo de recurso energético disponible, como la zona climática o la radiación solar media de la zona.
- De funcionamiento: Propiedades funcionales como el número de captadores, el cual es proporcional a la energía generada, la curva de rendimiento de estos, el factor de ganancia o el tipo de equipo instalado.

La demanda térmica para ACS DT_{ACS} es aquella necesaria para aumentar la temperatura del agua fría entrante T_{AF} hasta la temperatura que se precise del caudal de agua de consumo Q_{AC} . Otros parámetros relacionados con el agua son su densidad y el calor específico. La demanda DT_{ACS} se puede obtener mediante la Ecuación 3-1:

$$DT_{ACS} = Q_{AC} \cdot \rho (T_C - T_{AF}) = Q_{AC} \cdot \rho \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 3-1}$$

La obtención simplificada de estos datos se consigue usando los valores medios diarios, según los cuales se obtiene una demanda energética media mensual y anual.

Por otro lado, el consumo energético CE_{ACS} , es la energía realmente necesaria para abastecer las necesidades requeridas por el cuartel, y dependen de la ocupación del edificio; en este caso, de los alumnos, pudiendo ser mayor o menor que la propia demanda. Se obtiene mediante la suma de la demanda energética DT_{ACS} y las pérdidas térmicas PT asociadas a dicha demanda, según la Ecuación 3-2:

$$CE_{ACS} = DE_{ACS} + PT_{ACS} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Adicionalmente, suele existir un equipo de apoyo que aporte la energía para conseguir los picos de demanda, el consumo energético total suministrado por el sistema de apoyo CE_{APOYO} está compuesto por su demanda DE_{APOYO} y sus correspondientes pérdidas PT_{APOYO} , según la Ecuación 3-3

$$CE_{APOYO} = DE_{APOYO} + PT_{APOYO} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Una vez obtenidos los datos de consumo, se necesitará determinar diversos parámetros relacionados con el sistema de captación que se pretende usar en la instalación, tales como su rendimiento η_{INST} (Ecuación 3-4), el cual refleja la relación entre la energía solar neta obtenida por el sistema de captación ES_{NETA} y la energía solar total incidente en el mismo $ES_{INCIDENTE}$; o la fracción solar FS (Ecuación 3-5), relación entre dicha ES_{NETA} y el consumo total de ACS CE_{ACS} , reflejando el porcentaje de contribución por parte del campo de colectores al sistema principal:

$$\mu_{INST} = \frac{ES_{NETA}}{ES_{INCIDENTE}}$$

$$FS = \frac{ES_{NETA}}{CE_{ACS}}$$

Ecuación 3-4

Ecuación 3-5

En relación con los parámetros climáticos, son aquellos que dependen del emplazamiento geográfico del edificio (Pontevedra), los cuales permiten estimar la energía disponible y parte de las pérdidas térmicas de la instalación, algunos de ellos son:

- Zona climática
- Irradiación solar
- Temperatura ambiente exterior media
- Temperatura de red

Por otro lado, la inclinación óptima de los módulos es importante para saber las pérdidas del sistema (Figura 3–10). Estas pérdidas se calculan en función de:

- Ángulo de inclinación β , el cual se forma entre la superficie horizontal y la de los distintos módulos de captación, normalmente se usan inclinaciones de $\beta=0^\circ$ para módulos horizontales y de $\beta=90^\circ$ para los verticales.
- Ángulo de acimut α , hace referencia al ángulo entre la proyección del edificio sobre la norma del plano horizontal y el meridiano del lugar concreto. Normalmente se usan valores de $\alpha=0^\circ$ para módulos orientados al sur, $\alpha= -90^\circ$ si se orientan al este, $\alpha= +90^\circ$ si es al oeste.

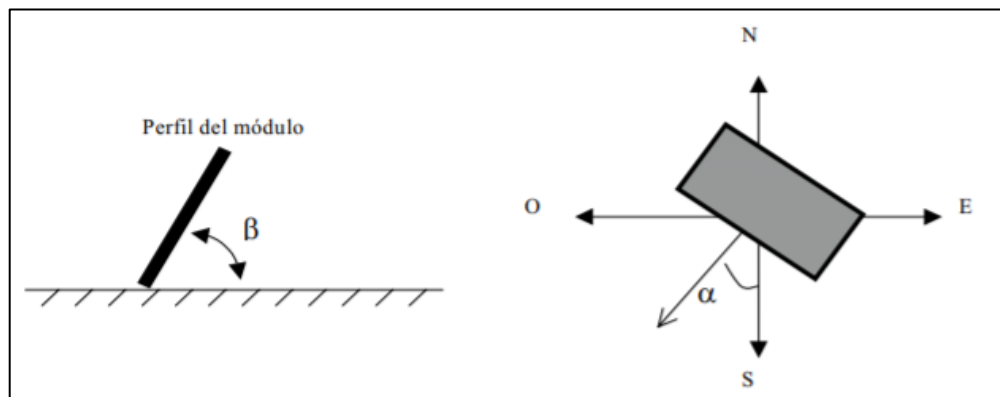


Figura 3–10 Conceptos teóricos. Orientación e inclinación de captadores [28].

Finalmente, la superficie de captación es uno de los parámetros más relevantes en el dimensionado, ya que al obtener dicha superficie, se puede calcular el número de colectores que sería posible instalar, obteniendo por tanto la cantidad aproximada de energía suministrada a la instalación.

3.2.2 Estimación de datos

A continuación, se estiman los datos generales para el pre-dimensionado básico y conceptual según la normativa vigente del DBHE [28].

- Demanda de ACS:
 - El cuartel de alumnos puede alojar a 352 alumnos.
 - La ocupación del edificio se supone del 100% todo el año menos en periodos vacacionales de verano, donde se reduce al 50%.
 - Para el caso de un cuartel, se estima una demanda de 20 litros por persona y día a 60°C durante todo el año, es decir, 7.040 litros/día (ver Figura 3–11).

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fabricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Figura 3–11 Estimación de datos. Demanda de ACS [28].

- Contribución solar mínima (CSM):
 - La CSM será al menos el 30% de la demanda anual de ACS, ya que Marín se encuentra en la zona climática I (Figura 3–13), obteniendo un total de entre 7.000 y 8.000 litros/día según la Figura 3–12.
 - No existe piscina cubierta.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70
Zona climática					
	I	II	III	IV	V
Piscinas cubiertas	30	30	50	60	70

Figura 3–12 Estimación de datos. Contribución solar mínima (CSM) [28].

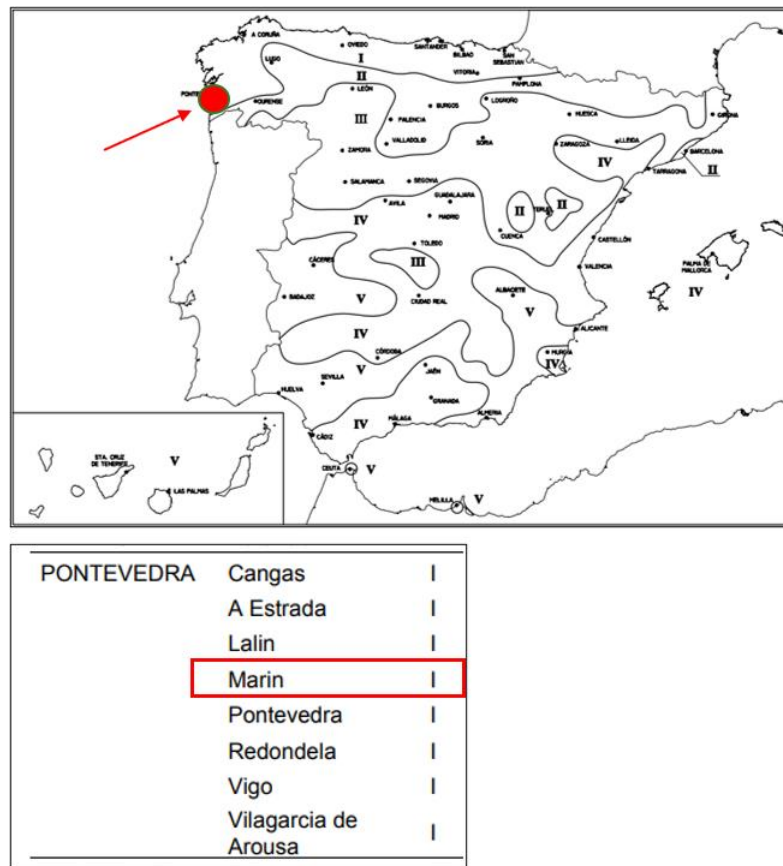


Figura 3–13 Estimación de datos. Zona climática [28].

- Orientación e inclinación:
 - Orientación de la fachada del tejado respecto al sur: $\alpha = -15^\circ$ (165°).
 - Inclinación óptima de colectores: $\beta=45^\circ$.
 - Se estiman pérdidas generales de menos del 15% (Figura 3–14), ya que las pérdidas por sombra se suponen del 0%, al no tener ningún edificio colindante que pueda afectarle (Figura 3–15).

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Figura 3–14 Estimación de datos. Pérdidas por orientación e inclinación [28].



Figura 3–15 Estimación de datos. Cuartel Francisco Moreno y edificios colindantes.

- Ocupación:
 - El cálculo del número de personas por vivienda debería tomar unos valores mínimos similares a los que se presentan en la Figura 3–16.
 - La realidad es que existen 88 viviendas de 4 personas cada una, haciendo un total de 352 personas, por lo que se adaptará dicha ocupación acorde al programa de cálculo, con el fin de obtener resultados similares con la ocupación real.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Figura 3–16 Relación mínima de personas por vivienda [28].

- Datos climáticos:
 - Temperatura ambiente exterior media (14,8°C)
 - Temperatura de red: 13°C
 - Temperatura de acumulación de ACS: 60°C
 - Irradiación solar media (15 MJ/m²)
 - Humedad relativa media (72%)
 - Calor específico del agua: $C_e = 4187J / (Kg \cdot ^\circ C)$
 - Densidad del agua: $\rho = 1000kg / m^3$
- Superficie disponible de captación en los tejados del cuartel (Figura 3–17):
 - Mediante el uso Google Earth y los planos del cuartel (disponibles en el Anexo II), se calcula una superficie disponible de captación de 980 m², repartida de la siguiente manera:
 1. Tejado NE: Superficie estimada de 210 m²

2. Tejado NO: Superficie estimada de 250 m^2
3. Tejado S: Superficie estimada de 520 m^2



Figura 3–17 Cuartel Francisco Moreno. Superficie de captación.

Por otro lado, tras haberse realizado un estudio de mercado y contactar con múltiples empresas, se propone lo siguiente:

- Sistema de captación:
 - Captador plano vertical de la marca Saunier Duval, modelo HelioPLAN SRV 2.3 (Figura 3–18).
 - Superficie total: $2,51 \text{ m}^2$
 - Superficie de apertura: $2,352 \text{ m}^2$
 - Longitud: 2.033 mm
 - Ancho: 1.233 mm
 - Grosor: 80 mm
 - Rendimiento: 80,4%
 - Potencia pico: 1,86 kW



Figura 3–18 Estimación de datos. Captador HelioPLAN SRV 2.3 [33].

Adicionalmente, en el circuito primario se prevé la utilización de una mezcla anticongelante compuesta por propilen glicol, agua e inhibidores de corrosión. La protección antihielo de la mezcla contempla temperaturas de hasta -28°C , teniendo una mezcla de composición propilen glicol al 45% y densidades entre $1,032$ y $1,035 \text{ g/cm}^3$ a 20°C , garantizando una concentración constante en caso de contarse con un sistema de relleno automático.

- Sistema de acumulación:
 - Actualmente existen 2 acumuladores de acero inoxidable de 3.000 litros cada uno (ver Figura 3–6), conectados entre sí, con presión máxima de trabajo de 8 bar y temperatura máxima de 70°C .
 - El DBHE establece que la relación entre el área total de captadores y el volumen de acumulación cumpla la condición según la Ecuación 3-6:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad \text{Ecuación 3-6}$$

Siendo:

- A la suma del campo de captadores, expresado en m^2 .
- V el volumen de acumulación, expresado en litros.

Al contar con una acumulación de 6.000 litros, se estima que la superficie del campo solar se encuentre entre $33,4 \text{ m}^2$ y 120 m^2 para cumplirse la condición, establecida según la relación:

$$\frac{6.000}{50} < \text{superficie solar} < \frac{6.000}{180}$$

- Resto de la instalación: Los demás sistemas que componen una instalación solar serían los siguientes:
 - Circuito hidráulico, compuesto por bombas, tuberías, válvulas, etc., que transportaría el fluido hasta el sistema de acumulación.
 - Sistema de intercambio, que realiza la transferencia de energía captada desde los captadores o circuito primario, al agua de consumo.
 - Sistema de regulación y control, que asegura un correcto funcionamiento de la totalidad de equipos para un uso óptimo y eficiente, además de garantizar la seguridad ante riesgos por sobrecalentamientos, congelación, sobrepresión, etc.
 - Sistema de apoyo para cubrir la necesidad de demanda, garantizando así, una continuidad del suministro de la instalación.

Cabe destacar que la sala de calderas ya cuenta con los diferentes sistemas y equipos previamente mencionados, a excepción de la posibilidad de tener que implementar nuevos elementos o acondicionar los ya existentes a las necesidades provocadas por la adquisición de los captadores, de forma que se dispongan de manera óptima todos los elementos para la transición a un sistema mixto de captadores solares y calderas de gas.

3.2.3 *Software de simulación*

El uso de softwares informáticos que permiten simular las condiciones a las que se expondría la instalación térmica facilitan la tarea técnica en relación con el cálculo de prestaciones energéticas. Estos softwares se centran en objetivos tales como el cumplimiento de los requisitos mínimos reglamentarios vinculantes con la legislación vigente y la comparación entre las distintas instalaciones y equipos térmicos.

Según la instalación de cada proyecto, se utiliza un método de cálculo u otro, para ello se emplean softwares de:

- Simulación dinámica: Son programas avanzados que requieren formación previa. Los resultados son óptimos ya que permite múltiples posibilidades de simulación y modificación de parámetros según las necesidades. Alcanzar representaciones muy precisas a las condiciones reales, además de facilitar información técnica de los distintos parámetros de uso de la instalación.
- Simulación estática: Este tipo de simulación ofrece unos resultados parecidos a los de simulación dinámica, aunque durante un periodo de tiempo determinado, con una serie de variables y condiciones preestablecidas. El tiempo de formación para su uso no es extenso y ahorra tiempo y dinero una vez se maneje el sistema con soltura.
- Cálculo estático simplificado: Son programas sencillos, válidos para pequeños cálculos y estimaciones, que usan parámetros como los valores de consumo medios, la superficie de captación, el tipo de captador o la temperatura del agua caliente y fría. Ofrece al usuario resultados sencillos y rápidos, pero de forma general y en condiciones normales.

El cálculo realizado en este TFG será a través de una herramienta de cálculo simplificado, en concreto, el de la empresa energética Saunier Duval, mediante el programa *Calsolar 4*, ya que, al ser una metodología de pre-dimensionamiento básico y conceptual, se precisa de una estimación de condiciones y parámetros generales, de cálculo sencillo y rápido, asequible para su uso, acorde con la experiencia y conocimiento en este campo en particular.

A continuación, se muestra la información obtenida con el programa, teniendo en cuenta las estimaciones del apartado anterior:

1. La localización está establecida en Marín, Pontevedra; indicando su localización geográfica, por medio de la cual se estiman los distintos datos climáticos de la zona. (Figura 3–19).

ACS: Localidad

Saunier Duval

www.saunierduval.es

Localidad

País: España Provincia: Pontevedra Localidad: Marín

Zona climática: I Latitud: 42.25 Rad. global Media: 4.08

	Humedad relativa (%)	Velocidad viento (m/s)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura agua de red (°C)	Radiación incidente (kWh/m²)
Enero	78	3.0	9.9	10.0	1.64
Febrero	77	2.6	10.7	11.0	2.28
Marzo	75	2.8	11.9	11.0	3.61
Abril	71	3.1	13.6	13.0	4.89
Mayo	76	2.9	15.4	14.0	5.56
Junio	70	2.8	18.8	16.0	6.81
Julio	73	2.7	20.7	17.0	7.08
Agosto	75	2.5	20.5	17.0	6.42
Septiembre	71	2.6	19.1	16.0	4.64
Octubre	78	2.4	16.1	14.0	3.19
Noviembre	77	2.6	12.6	12.0	2.00
Diciembre	79	2.9	10.3	10.0	1.53

Esquema Demanda Captador Acumulador Cobertura

Salir Cancelar Aceptar

Figura 3–19 Simulación. Datos climáticos.

- Esquema: De forma gráfica y orientativa, se presenta un esquema simplificado y genérico de lo que podría ser la disposición principal de la instalación (ver Figura 3–20), contando con elementos relevantes como el campo solar, un centro de control, intercambiadores de calor, acumuladores, o el equipo de apoyo, en este caso, una caldera; todo ello conectado mediante el sistema de distribución y valvulería necesarios.

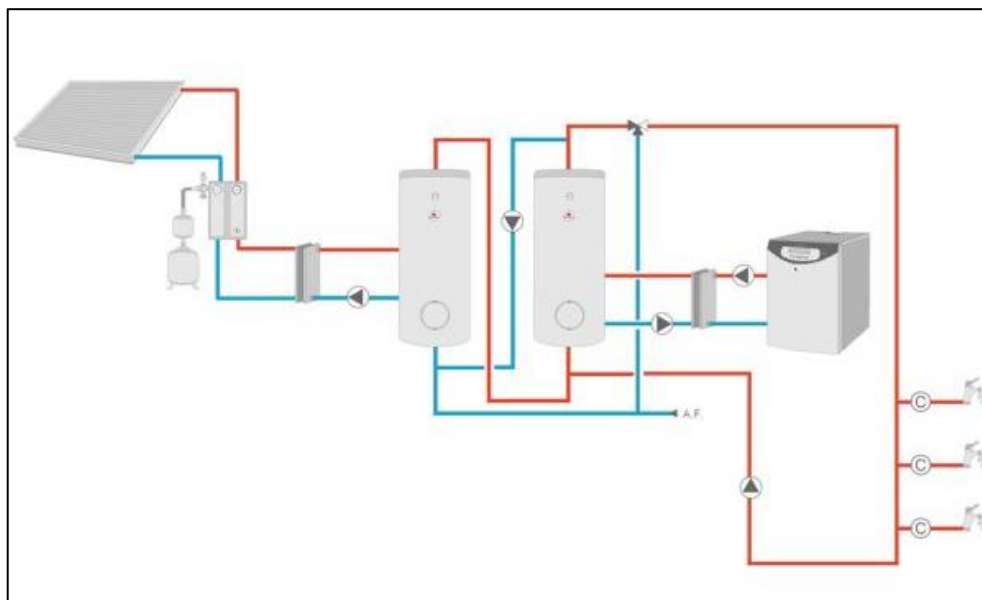


Figura 3–20 Simulación. Esquema básico.

- Demanda: Respecto a la ocupación y el número de viviendas, se ha establecido un total de 88 viviendas de 3 dormitorios, a fin de aproximar la demanda estimada en el apartado anterior, de 7.040 litros/día, con temperatura de consumo de 60°C según el DBHE. Adicionalmente, se establece una ocupación completa durante todo el año, a excepción de los meses de julio y agosto, la cual se reduce al 50% (Figura 3–21).

ACS: ACS

www.saunierduval.es

ACS

Ocupación: 1D 2D 3D 4D 5y6D >6D

Nº viviendas: 0 0 88 0 0 0

Consumo diario: 28 l/persona y día

Tª consumo: 60 °C

F. Centralizador: 75 %

	Ocupación (%)	Consumo (l/mes)	Consumo (l/día)	Demanda (kWh)
Enero	100	229152	7392,00	13325,83
Febrero	100	206976	7392,00	11795,50
Marzo	100	229152	7392,00	13059,31
Abril	100	221760	7392,00	12122,20
Mayo	100	229152	7392,00	12259,76
Junio	100	221760	7392,00	11348,44
Julio	50	114576	7392,00	5730,10
Agosto	50	114576	7392,00	5730,10
Septiembre	100	221760	7392,00	11348,44
Octubre	100	229152	7392,00	12259,76
Noviembre	100	221760	7392,00	12380,12
Diciembre	100	229152	7392,00	13325,83

Cancelar | Aceptar

Figura 3–21 Simulación. Ocupación.

- Captador: Para el sistema de captación, se escoge el captador HelioPLAN SRV 2.3 de la marca Saunier Duval, captador vertical de serpentín, con revestimiento muy selectivo y circulación forzada, orientado (-15°) respecto al sur e inclinado 45°, ya que se estima la inclinación óptima. Se propone, además, una configuración de captador superpuesto encima del tejado mediante el acople de una estructura de perfilería de aluminio que permitan al captador dicha inclinación.

A continuación, se muestran los siguientes datos de relevancia reseñados por el programa:

Datos de la curva de rendimiento del captador:

- Rendimiento del 79 %.
- Coeficiente de pérdidas lineal $K1 = 2,424 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- Coeficiente de pérdidas cuadráticas $K2 = 0,049 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Datos técnicos del captador:

- Superficie neta de $2,35 \text{ m}^2$.
- Superficie bruta de $2,51 \text{ m}^2$.

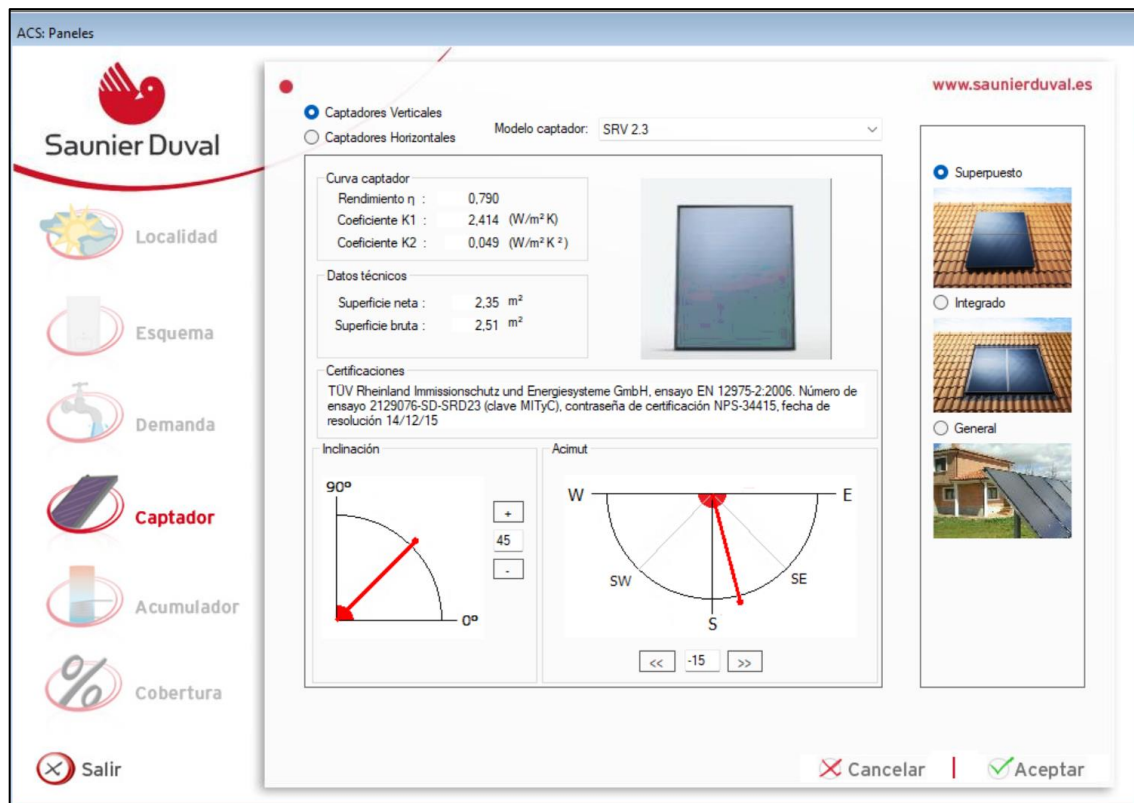


Figura 3–22 Simulación. Sistema de captación.

5. Acumulador: Se cuenta con los 2 acumuladores existentes en la sala de calderas, obteniendo un volumen de acumulación de 6.000 litros en total, de uso común para ACS y calefacción (ver Figura 3–6)

Finalmente, las pérdidas por sombra se estiman nulas debido a la ausencia de edificios colindantes, y las pérdidas por recirculación y acumulación se suponen de un 5%. A su vez, las pérdidas preestablecidas por el programa por orientación e inclinación serán de un 1,71 % (Figura 3–23).

ACS: Paneles necesarios

Saunier Duval

www.saunierduval.es

Porcentaje de cobertura | Número de captadores

Grado de cobertura

Zona CTE: I

ACS 66,44 % Piscina 30,00 %

Pérdidas

Pérdidas de recirculación/acumulación 5 %

Pérdidas por orientación e inclinación 1,71 %

Pérdidas por sombreado 0,00 %

Calcular pérdidas por sombreado

Cancelar | Aceptar

Figura 3–23 Simulación. Sistema de captación.

Como se ha mencionado anteriormente, debido al alto porcentaje de uso diario del sistema de ACS frente al de calefacción, se le dedicará un mayor estudio a la demanda de ACS, con el objetivo de que la aportación solar cubra principalmente la demanda de dicho sistema. Sin embargo, se cuenta con que el total de volumen calentado de forma solar va dirigido a los acumuladores, de uso común para ambos circuitos. De esta manera, se podría derivar un porcentaje de agua caliente a uno u otro sistema, dependiendo de la época del año y la ocupación, de variabilidad relevante dada la cambiante actividad de la ENM a lo largo, con el objetivo de que el campo solar contribuya energéticamente al sistema de ACS y calefacción.

3.3 Frío solar

A mayores y de manera novedosa, aunque no estrictamente necesaria, sería interesante la implementación de una máquina de absorción que cubra la demanda refrigeración de la zona sureste de la biblioteca Císcar y Císcar, emplazada en la planta baja de la fachada sur del cuartel y dividida en las zonas comunes sureste y suroeste, ya que es un lugar donde se agrupan gran cantidad de alumnos durante largos periodos de tiempo a lo largo de su estancia en la ENM. Resaltar que el uso de este servicio se realizaría mayormente durante la estación primaveral y veraniega del año.

Para ello, se considera que, según el RITE [29], la temperatura de climatización ideal en términos de confort, para la época de verano oscila entre los 23°C y los 25°C, a diferencia de la época invernal, que es entre 21°C y 23°C. Por otro lado, se realiza el estudio basado en el método de cálculo ASHRAE [30], el cual puede encontrarse en el blog [31] de la empresa Soler Palau, un fabricante de prestigio.

3.3.1 Estimación de la demanda de refrigeración

Para poder obtener una estimación de la demanda refrigeración, es necesario realizar un cálculo previo de cargas térmicas. Estas cargas dependen de diversos factores como:

- Ocupación
- Iluminación del espacio a climatizar
- Existencia de equipos y aparatos diversos

- Transmisión de radiación a través de los componentes del cuartel según los materiales de las distintas paredes, el techo, el suelo o ventanas
- Caudal de aire infiltrado
- Diferencia tanto de temperatura como de humedad entre el interior y exterior del edificio
- Densidad y calor específico del aire
- Radiación solar

Clasificamos las cargas térmicas, entre cargas térmicas sensibles y cargas térmicas latentes:

- Cargas térmicas sensibles: Se incluyen las cargas térmicas originadas por una diferencia de temperatura y también las debidas a la radiación térmica.
- Cargas térmicas latentes: Aquellas que se deben a una aportación de humedad al aire. Por ejemplo, las derivadas del aire exterior o de la actividad interior (como puede ser la humedad generada por unas cocinas o una maquinaria específica).

El cálculo de carga total es la suma de ambas cargas, la sensible y la latente (Ecuación 3-7):

$$Q_T = Q_S + Q_L \quad \text{Ecuación 3-7}$$

De forma que la carga térmica sensible se obtendría según la Ecuación 3-8:

$$Q_S = Q_{STR} + Q_{SR} + Q_{ST} + Q_{SI} + Q_{SAI} \quad \text{Ecuación 3-8}$$

Siendo:

- Q_{STR} el valor de la carga sensible por transmisión a través de paredes y techos exteriores, expresado también en W.
- Q_{SR} el valor de la carga sensible originada por la transmisión a través de cerramientos traslúcidos, expresado en W.
- Q_{ST} el valor de la carga sensible por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores (W).
- Q_{SI} el valor de la carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior (W).
- Q_{SAI} el valor de la carga sensible debida a aportaciones internas (W).

Transmisión a través de paredes y techos exteriores Q_{STR} (Ecuación 3-9):

$$Q_{STR} = K \cdot S \cdot (T_{EC} - T_{INT}) \quad \text{Ecuación 3-9}$$

- Siendo K el coeficiente de transmisión térmica del cerramiento ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$), también llamado transmitancia térmica.
- Siendo S la superficie del cerramiento, expresado en m^2 .
- Siendo T_{EC} la temperatura de diseño al otro lado del cerramiento, expresado en $^\circ C$.
- Siendo T_{INT} la temperatura interior del diseño del local, expresado en $^\circ C$.

Transmisión de radiación solar a través del cristal Q_{SR} (Ecuación 3-10):

$$Q_{SR} = S \cdot R \cdot F \quad \text{Ecuación 3-10}$$

- Siendo S la superficie traslúcida o acristalada expuesta a la radiación, expresado en m^2 .
- Siendo R la radiación solar que atraviesa dicha superficie, expresado en W/m^2 .
- Siendo F los factores de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio y otros factores.

Transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores Q_{ST} (Ecuación 3-11):

$$Q_{ST} = K \cdot S \cdot (T_E - T_{INT}) \quad \text{Ecuación 3-11}$$

- Siendo K el coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento, expresado en $W/m^2\text{°C}$.
- Siendo S la superficie del cerramiento interior, en m^2 .
- Siendo T_E la temperatura de diseño al otro lado del cerramiento (°C).
- Siendo T_{INT} la temperatura interior de diseño del local (°C).

Transmisión por infiltraciones de aire exterior Q_{SI} (Ecuación 3-12):

$$Q_{SI} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 3-12}$$

- Siendo V el caudal de aire infiltrado y de ventilación (m^3/s).
- Siendo ρ la densidad del aire, de valor $1,18 \text{ kg}/m^3$.
- Siendo $C_{e,aire}$ el calor específico del aire, de valor $1012 \text{ J}/\text{kg}\text{°C}$.
- Siendo ΔT la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior.

Carga sensible por aportaciones internas Q_{SAI} (Ecuación 3-13):

$$Q_{SAI} = Q_{SIL} + Q_{SP} + Q_{SV} \quad \text{Ecuación 3-13}$$

Siendo Q_{SIL} la ganancia interna de calor sensible por iluminación, expresado en W.

Siendo Q_{SP} , la ganancia interna de calor sensible debido a los ocupantes, en W.

Siendo Q_{SV} la ganancia interna de calor sensible por aparatos diversos, en W.

Y la carga térmica latente (Ecuación 3-14)

$$Q_L = Q + Q_{LP} \quad \text{Ecuación 3-14}$$

Siendo:

- Q el valor de la carga latente debido a la ventilación/infiltración de aire (Ecuación 3-15):

$$Q = V \cdot 0,63 \cdot \Delta w \quad \text{Ecuación 3-15}$$

- Q_{LP} el valor de la carga latente debido a las personas (Ecuación 3-16):

$$Q_L = Q + Q_{LP} \quad \text{Ecuación 3-16}$$

Donde se diferencian los términos referidos a la carga por ventilación/ infiltración Q:

- V el caudal de aire infiltrado o de ventilación, expresado en m^3/h .
- 0,63 el producto de la densidad estándar del aire ($1,2 \text{ kg}/m^3$) por el calor latente de vaporización del agua ($0,52 \text{ Wh/g}$).
- Δw la diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior y el interior (°C).

Y los referidos a la carga debido a las personas Q_{LP} :

- Esta carga latente por ocupación del local se obtiene multiplicando una valoración de calor latente emitido por una persona tipo, por el número de ocupantes previstos para este local estudiado.

Para el cálculo operativo de las cargas, las cuales permitirán obtener la demanda aproximada de la zona sureste de la biblioteca, se realizan una serie de asunciones previas que simplifican el proceso de cálculo, de forma que se obtienen los siguientes datos:

A la vista de que Pontevedra tiene un clima suave en verano, realmente el salto térmico entre la temperatura exterior y la temperatura de confort interior es pequeño, de 2,2 °C.

$$\Delta T = T_{EXT} - T_{INT, OBJETIVO} = 26,2^{\circ}C - 24^{\circ}C$$

Esto va a implicar que las cargas térmicas sensibles asociadas al salto térmico tengan una influencia pequeña en la carga sensible total.

Teniendo en cuenta la simplificación anterior, adoptaremos como cargas sensibles representativas para el estudio las siguientes:

Carga sensible por aportaciones internas Q_{SAI} (Ecuación 3-17):

$$Q_{SAI} = Q_{SIL} + Q_{SP} + Q_{SY} \quad \text{Ecuación 3-17}$$

Transmisión por infiltraciones de aire exterior Q_{SI} (Ecuación 3-18):

$$Q_{SI} = V_v \cdot 0,33 \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 3-18}$$

Donde se realizan las siguientes simplificaciones:

- Q_{SIL} , cargas debidas a la iluminación, se estima una aportación de 10 W/m².
- Q_{SP} , cargas debidas a las personas, se estima una aportación de 60 W/persona, y una densidad de 2 m²/persona.
- Q_{SY} , cargas debidas a aparatos diversos, se estima una aportación de 5 W/m².
- Q_{SI} , carga por infiltraciones de aire exterior, se estima un volumen de ventilación de 12,5 l/s y persona (45 m³/h).

Por otro lado, la biblioteca tiene una superficie aproximada de 400 m², por tanto, obtenemos:

- $N^{\circ}_{PERSONAS} = \frac{400 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2 \cdot \text{persona}} = 200 \text{ personas}$
- $Q_{SAI} = 400 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{10 \text{ W}}{\text{m}^2} + \frac{5 \text{ W}}{\text{m}^2} \right) + \left(\frac{60 \text{ W}}{\text{persona}} \cdot 200 \text{ personas} \right) = 18.000 \text{ W}$
- $Q_{SI} = V \cdot 0,33 \cdot \Delta T = 200 \text{ personas} \cdot \frac{45 \text{ m}^3}{\text{hora} \cdot \text{persona}} \cdot 0,33 \cdot 2,2^{\circ}C = 6.534 \text{ W}$

Respecto a la carga latente, se adoptan las siguientes cargas representativas:

- Q_{LP} , cargas debidas a las personas, se estima una aportación de 30 W/persona y una densidad de 2m²/persona.
- $Q_{LP} = \frac{30 \text{ W}}{\text{persona}} \cdot 200 \text{ personas} = 6.000 \text{ W}$

Sumando los valores obtenidos de ambos tipos de cargas:

$$Q_T = Q_{SAI} + Q_{SI} + Q_{LP} = 18.000 \text{ W} + 6.534 \text{ W} + 6.000 \text{ W} = 30.534 \text{ W}$$

Como medida conservadora, y para considerar las cargas asociadas al salto térmico entre el exterior y el interior, podríamos mayorar esta carga en un 15%, obteniendo una carga frigorífica total de:

$$30.534 \text{ W} \cdot 1,15 = 34.900 \text{ W}$$

Resumiendo, tras las estimaciones consideradas, la biblioteca exige unas cargas de refrigeración de aproximadamente 35 kW.

4 RESULTADOS

Este capítulo engloba tanto los resultados obtenidos con el programa de cálculo *Calsolar 4*, de la empresa de energía solar Saunier Duval, permitiendo estimar el porcentaje de contribución solar aportado por los captadores, así como los relacionados con la demanda de refrigeración de la zona sureste de la biblioteca; su posterior análisis y posibles soluciones ante estos resultados, seguido de un estudio económico y comparativo del conjunto respecto con el sistema actual.

4.1 Contribución solar

Tras el cálculo realizado con el programa *Calsolar 4*, se consiguen unos resultados próximos a las estimaciones previamente calculadas, de tal forma que se obtiene lo siguiente (Figura 4–1):

- La demanda obtenida en el cálculo es de 7.392 litros/día y persona, ya que se establece un consumo de 28 litros por persona y día a 60°C (preestablecido por el programa).
- Referido en términos energéticos, la demanda media se estima de 11.110,48 kWh/mes (ver Figura 4–4).
- La relación de acumulación obtenida resulta ser de 51 litros/ m^2 .
- Se cuenta con un volumen de acumulación de 6.000 litros, repartidos entre los 2 acumuladores existentes en la sala de calderas, cumpliéndose la relación entre el volumen de acumulación y la superficie de captación, establecida por el DBHE en el apartado anterior:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 = \frac{6.000 \text{ litros}}{117,6 \text{ m}^2} = 51,020$$

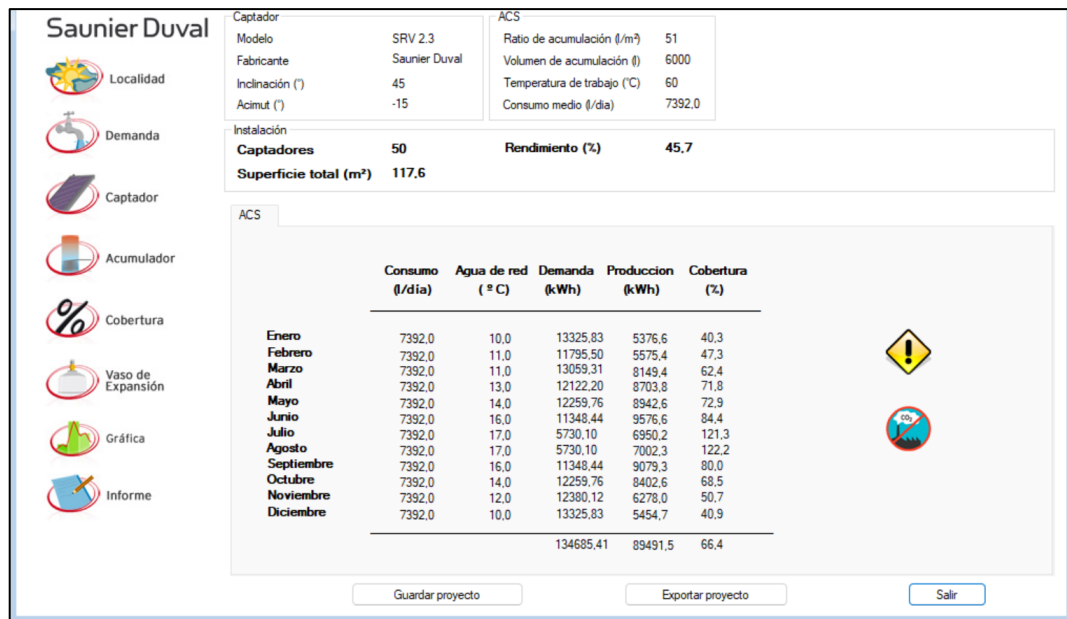


Figura 4-1 Resultados generales.

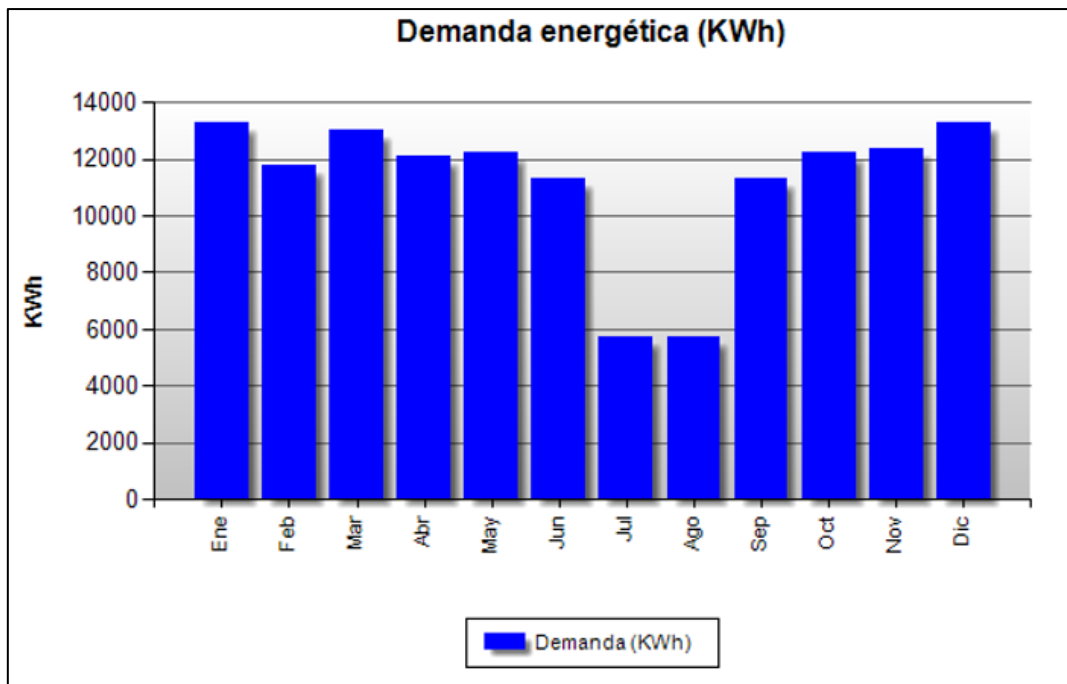


Gráfico 4-1 Resultados. Demanda energética.

- La instalación contaría con una superficie de captación de $117,6 \text{ m}^2$, compuesta por 50 captadores Helioplan SRV 2.3, trabajando a un rendimiento global medio del 45,7 %.
- El campo de colectores estaría orientado al sur -15° , con una inclinación del plano de 45° , lo cual supone unas pérdidas por inclinación y orientación del 1,71% (Figura 4-2) y no cuenta con pérdidas por sombra (Figura 4-3).

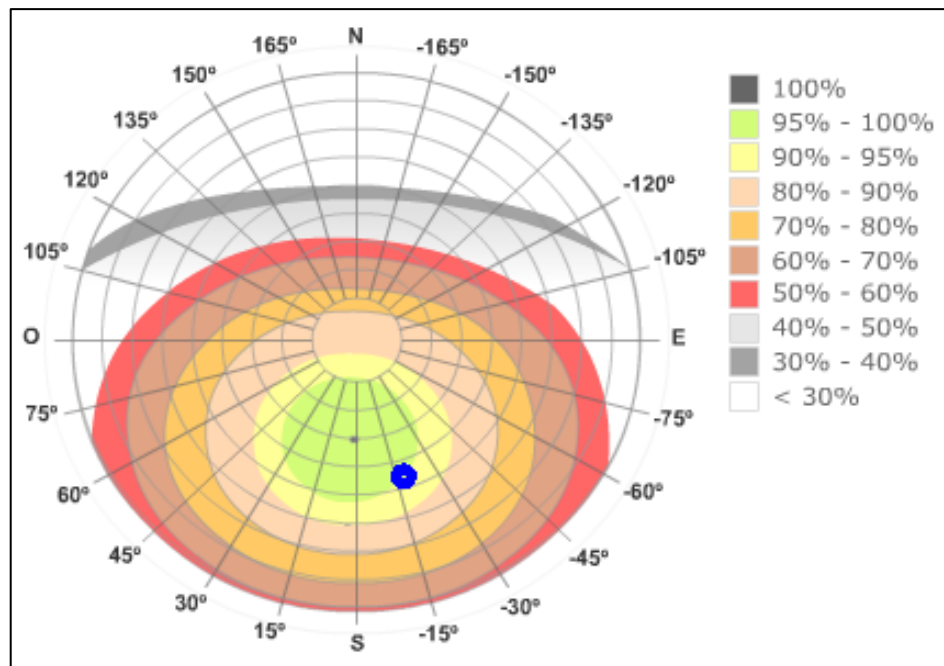


Figura 4-2 Resultados. Pérdidas por orientación e inclinación.

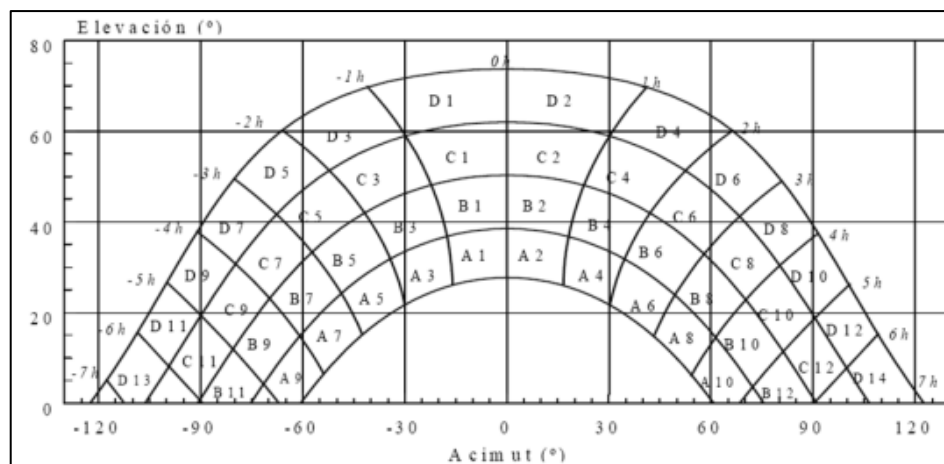


Figura 4-3 Resultados. Pérdidas por sombra.

- Esta superficie de captación aportaría una energía media de 7.457,62 kWh al mes, obteniendo su aportación mínima en enero, cubriendo el 40,3% de la demanda y su aportación máxima en agosto, pudiendo aportar hasta el 122,2% de la demanda prevista (Figura 4-4)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Demanda de energía (Total):	13325,83	11795,50	13059,31	12122,20	12259,76	11348,44	5730,10	5730,10	11348,44	12259,76	12380,12	13325,83	134685,4
Aporte solar A.C.S.:	5376,60	5575,40	8149,40	8703,80	8942,60	9576,60	6950,20	7002,30	9079,30	8402,60	6278,00	5454,70	89491,5
Fracción solar media A.C.S.:	40,3%	47,3%	62,4%	71,8%	72,9%	84,4%	121,3%	122,2%	80,0%	68,5%	50,7%	40,9%	66,4%

Figura 4-4 Resultados. Estudio detallado por meses (kWh).

- El grado de cobertura conseguido por la instalación sería del 66,4% anual (ver Figura 4-4). Cabe destacar que durante los meses de julio y agosto se sobrepasa el 110% de energía producida, con resultados del 121,3% y 122,2% de la demanda prevista, deducido

anteriormente dado que son los meses del año con más radiación incidente y menos ocupación del cuartel (Gráfico 4-2), por lo que se recomendaría alguna de las siguientes soluciones:

- Dotar la instalación de algún sistema de disipación de los excedentes producidos, como, por ejemplo, la circulación nocturna del circuito primario.
- Cubrir parcialmente el campo de captadores, privándolo de la incidencia de radiación solar, permitiendo evacuar los excedentes del circuito primario, que seguiría circulando a través del captador.
- Vaciado parcial del campo de captadores para evitar el sobrecalentamiento, con el inconveniente de necesitar rellenar dicha pérdida de fluido en el circuito primario, por uno de características similares.
- Desvío de los excedentes de energía a otras aplicaciones del edificio.

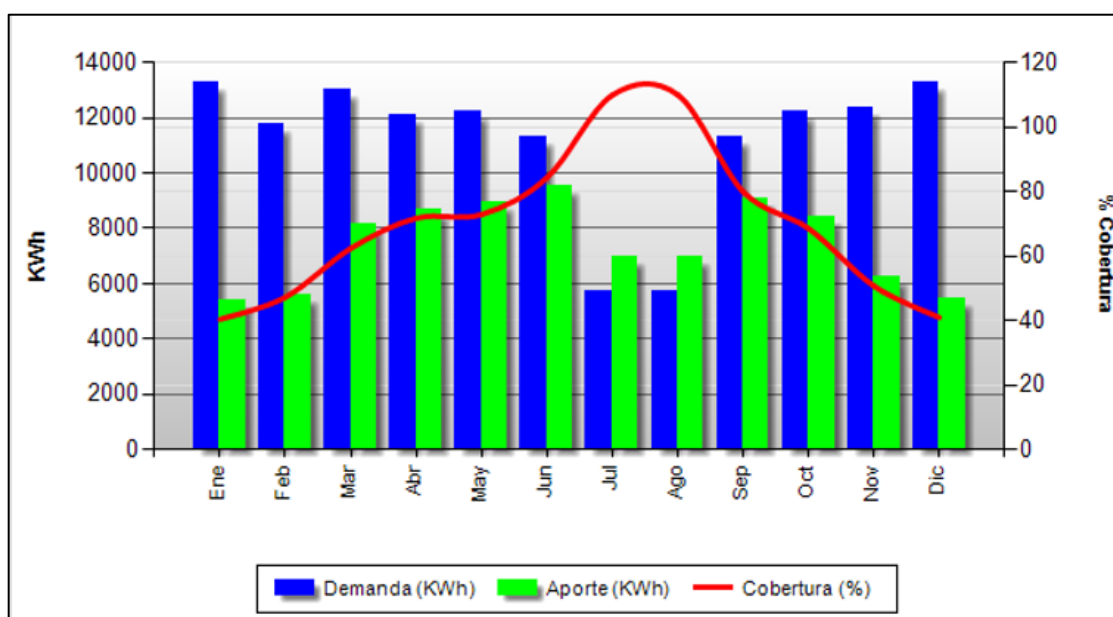


Gráfico 4-2 Resultados. Aporte solar.

Ante tal vicisitud, es necesario comparar la demanda mensual que se ha estimado ser aportada por el sistema solar, con el proporcionado por el programa. La demanda estimada según el DBHE, de 7.040 litros por persona y día (ver Figura 3-11), resulta ser de 7.392 litros, por definición del programa (ver Figura 4-1). Por lo que, tras el estudio en base a las condiciones establecidas, se excederían 352 litros por día, haciendo un total de 10.560 litros de agua a 60°C al mes.

Cabe destacar que el sistema de acumulación de la sala de calderas es usado por ACS y también por el circuito de calefacción, ya que una parte del agua que se calienta en el circuito de calefacción entra en las calderas a través del colector de recirculación, que a su vez pasa previamente por el intercambiador de calor, siendo este último de uso común tanto para el sistema de ACS como el de calefacción.

Ante tal situación, se propone que el excedente mencionado anteriormente sea usado para introducir agua precalentada a la caldera, suponiendo esto la reducción de energía aportada por las calderas en el circuito de calefacción, que se consigue calentando de forma solar la parte del agua destinada al colector de recirculación del circuito, resultando en la obtención de agua caliente precalentada antes de entrar a la caldera, reduciendo, por tanto, su contribución energética.

4.2 Frío solar

Considerando que el sistema de refrigeración solar también sería utilizado, en su defecto, para ACS y calefacción, de manera que mientras no haya demanda de refrigeración, el aporte de dichos captadores solares se añadiría al del campo diseñado para ACS y calefacción. Teniendo en cuenta que el sistema estimado de ACS cuenta con un excedente de 352 litros al día, propuesto para ser dedicado al uso de calefacción, se propone, además, como adaptación óptima, el uso de ese excedente también para la climatización de la zona sureste de la biblioteca, estableciendo su periodo de funcionamiento desde mayo a noviembre, justo el tiempo que el sistema de calefacción permanece inactivo. Por lo que, de forma general, el excedente proporcionado por el campo solar se usaría de forma alternativa entre el sistema de calefacción y el de refrigeración.

La distribución de la energía frigorífica en la zona sureste de la biblioteca se realizaría por medio de unidades interiores de fancoils tipo cassette. Las tuberías de agua de alimentación de estos equipos se proponen discurran por el falso techo de la biblioteca.

Como concreción de estos equipos, se proponen 6 unidades de fancoils, distribuidas en 2 hileras de 3 equipos, de 6 kW de potencia frigorífica total cada uno.

Como emisor de energía para dotar este sistema de refrigeración, se propone una máquina de absorción que aproveche el sistema de captadores solares como foco de generación del calor necesario para introducir en el generador de la máquina, permitiendo así que se produzca el ciclo de absorción.

Para dimensionar esta máquina de absorción se han calculado previamente las necesidades de refrigeración que necesita la zona sureste de la biblioteca, dando un resultado de 35 kW aproximadamente de potencia.

Para abastecer estas necesidades de frío, y atendiendo al balance energético propio de este tipo de tecnología, se aporta en la Figura 4-5 el balance de energía necesario para el funcionamiento del ciclo:

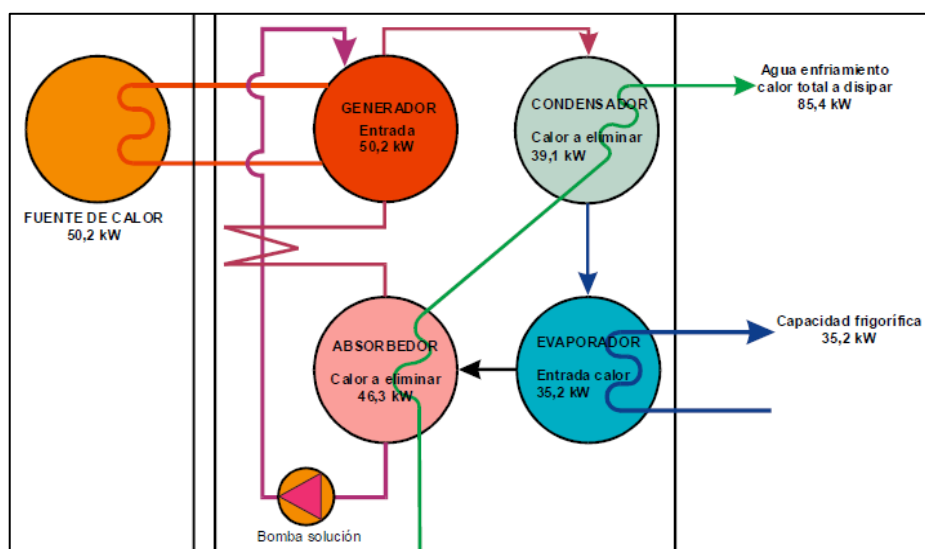


Figura 4-5 Resultados. Máquina de absorción.

Es decir, para obtener la potencia frigorífica necesaria, se debe aportar a la máquina de absorción en torno a 50 kW por parte de la fuente de calor. Por tanto, el sistema de captación solar, apoyado por las calderas existentes, debería aportar esta energía a la máquina de absorción.

A su vez, se generaría una energía residual de 85 kW, suma de la energía aportada como fuente de calor, procedente de los captadores, más la energía extraída en el evaporador al circuito de refrigeración, que es, precisamente, lo que permite la energía frigorífica. Esta energía residual se aprovecharía en

calentar el agua propia de los servicios de ACS, lo que también contribuiría a la reducción del uso de las calderas.

Por último, dentro de las distintas máquinas de absorción existentes en el mercado, se ha escogido la máquina Yazaki WFC-SH-10, capaz de generar la potencia necesaria de 35 kW y podría suplir esta demanda. Sus características pueden verse reflejadas más adelante en el Anexo VI: Datos técnicos de la máquina de absorción Yazaki WFC-SH-10.

4.3 Estudio económico y comparativo con el sistema actual

En este apartado se realiza un estudio económico de la instalación, de tal manera que quede reflejada la posible inversión realizada y la amortización que supondría, derivando de ello, la capacidad de ahorro generada por el sistema.

A continuación, se muestra gráficamente tanto el consumo energético (Gráfico 4-3) como el coste (Gráfico 4-4) de los últimos años, facilitados por el Servicio de Mantenimiento de la ENM, con el fin de estimar la ratio consumo/coste.

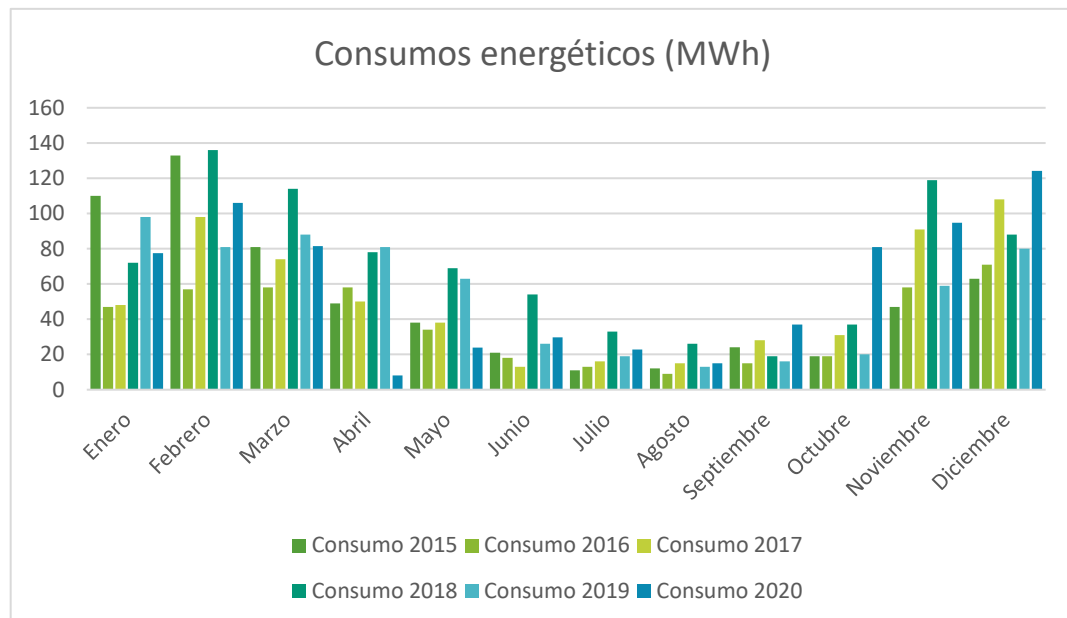


Gráfico 4-3 Consumos energéticos 2015-2020.

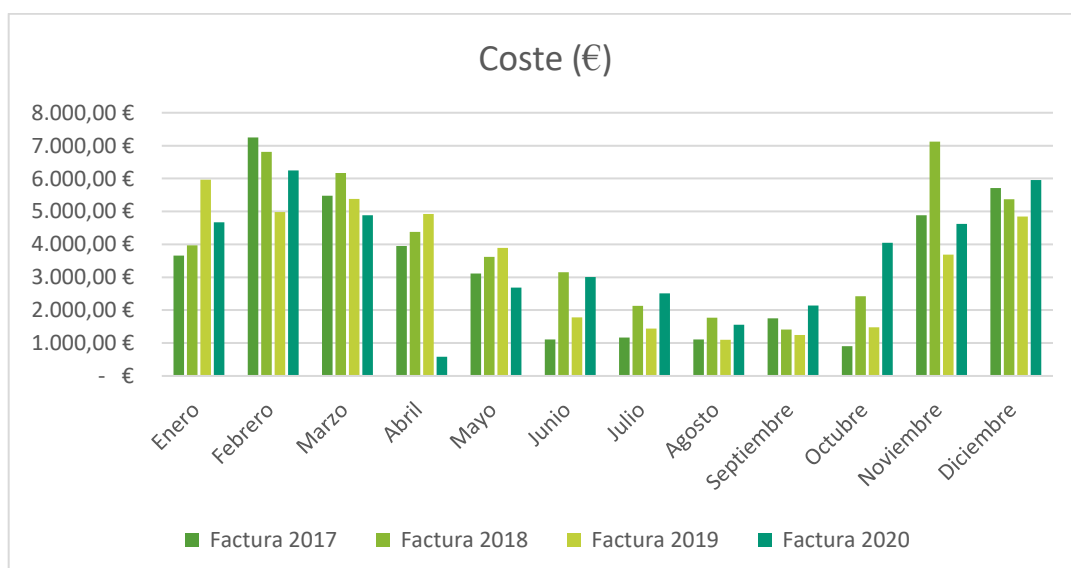


Gráfico 4-4 Coste de gas 2017-2020.

Realizando la media de consumo mensual y anual entre los años 2017 y 2020, intervalo de los que se tiene tanto datos de consumo como de facturación (ver Gráfico 4-3 y Gráfico 4-4), la relación concluyente mensual y anual indica que durante esos años se ha consumido:

- Una media 58,3 MWh/mes, costando 3.584,46 euros/mes aproximadamente.
- Un total de 700 MWh/año, costando 43.013,57 euros/año aproximadamente.

Cabe destacar que el precio que se paga por el gas de la ENM forma parte de un contrato marco entre el Arsenal de Ferrol, gestor de todas las dependencias de la Armada situados en Galicia, y la comercializadora energética del grupo Naturgy. Este contrato, según el Arsenal de Ferrol, mantiene un precio fijo por el consumo de gas desde 2015, por lo que los datos del año 2020, año del que se ha podido obtener la información más actualizada hasta la fecha, permite estimar el consumo y la factura de la instalación existente, que muestran un consumo medio de:

- 58,445 MWh mensuales, que resultan ser un coste de 3.577,46 euros mensuales.
- 701,34 MWh anuales, que resultan ser un coste de 42.928,26 euros anuales.

MWh	Consumo 2017	Consumo 2018	Consumo 2019	Consumo 2020
Media mensual	50,8	70,4	53,7	58,4
Total anual	610	845	644	701,3

Tabla 4-1 Consumo medio mensual y anual 2017-2020. Elaboración propia.

Euros	Factura 2017	Factura 2018	Factura 2019	Factura 2020
Media mensual	3.341 €	4.026,58 €	3.392,92 €	3.577,36 €
Total anual	40.092 €	48.319 €	40.715 €	42.928,26 €

Tabla 4-2 Facturación media mensual y anual 2017-2020. Elaboración propia.

Se estima que el porcentaje de consumo de ACS de un edificio asciende a dos tercios (66,7%) del consumo total del mismo, dejando el tercio restante (33,3%) para uso de calefacción. Plasmando dicha información sobre el cuartel Francisco Moreno y teniendo en cuenta que la calefacción solo está activa durante la mitad del año (de noviembre a mayo), el consumo medio durante esos 6 meses resulta ser de unos 39,607 MWh mensuales y un total de 475,284 MWh (67,8%) anuales únicamente para uso de ACS, verificándose dicha hipótesis.

De forma resumida se obtiene lo siguiente:

Consumo (MWh)	ACS	Calefacción	Consumo total
Diario	1,303	0,642	1,944
Mensual	39,083	19,25	58,333
Anual	469	231	700

Tabla 4-3 Consumo ACS y calefacción en MWh. Elaboración propia.

Con la instalación del campo solar se estima cubrir una producción anual de 89.491,5 kW. Frente a la producción de las calderas de 700 MW anuales, la contribución solar mínima de los captadores a las calderas podría aproximarse de tal forma que:

$$\text{Contribución solar mínima (CSM)} = \frac{89.491,5 \text{ kW} / \text{año}}{700 \text{ MW} / \text{año}} = 13\%$$

Como mínimo se cubrirá el 13% de la producción total anual, pudiendo elevarse dicha contribución a base de aumentar la superficie de captación solar.

Visto en términos económicos, se resume en lo siguiente:

1. La ratio consumo/facturación resulta ser de 0,061326 euros/kW.
2. La producción solar mensual ascendería a 7.457,625 kW, suponiendo esto:

$$\text{Ahorro} = 0,061326 \frac{\text{euros}}{\text{kW}} \cdot 7.457,625 \text{ kW} = 457,35 \frac{\text{euros}}{\text{mes}} \cdot 12 \text{ meses} = 5.488 \frac{\text{euros}}{\text{año}}$$

Por otro lado, a la hora de realizar un contrato de cierta envergadura económica, es usual que la empresa proveedora ofrezca algún tipo de descuento al cliente, reduciendo normalmente la aportación total entre un 25% y un 35%. Tras consultar las tarifas de la empresa Saunier Duval y Yazaki, y suponiendo que se aplica un 30% de descuento sobre el precio final, se obtiene un presupuesto de (Figura 4-6):

Componente	Precio unitario	Unidades	Descuento	Precio total
Captador SRV 2.3	685 €	50	30%	23.975 €
Soporte inclinación (x10 captadores)	1.530 €	5	30%	5.355 €
Máquina absorción Yazaki	17.000 €	1	30%	11.900 €
Fancoils tipo cassette	820 €	6	30%	3.444 €
Conjunto tuberías	6.000 €	1	30%	4.200 €
Total				48.874 €

Figura 4-6 Presupuesto.

$$\text{Amortización} = \frac{50.000 \text{ euros inversión}}{5.500 \text{ euros} / \text{año}} = 9,09 \text{ años}$$

Se estima una inversión total de 50.000 euros aproximadamente y un ahorro anual de 5.500 euros con el campo solar, esto permite estimar un tiempo de amortización de menos de 10 años. A partir de este periodo de tiempo, el campo solar comenzaría a generar un ahorro mínimo de entre 5.000 y 6.000 euros anuales.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

En primer lugar, cabe destacar que los datos recopilados y analizados a lo largo de este trabajo tienen un carácter orientativo y preliminar, pudiendo sacar a continuación los siguientes puntos y conclusiones:

La ENM mantiene activos los servicios de ACS y calefacción adoptando una política no sostenible mediante el consumo de combustibles fósiles. Tras una inversión de 50.000 euros aproximadamente, amortizados en menos de 10 años, la ENM no solo obtiene un sistema mixto de producción energética que reduzca sus emisiones de GEI, además, ahorrará como mínimo entre 5.000 y 6.000 euros anuales respecto al sistema actual.

La conclusión obtenida en relación con la instalación en general es que, a lo largo del estudio, se hace notar que la demanda energética referida a ACS y calefacción supera las estimaciones tomadas del DBHE, conllevando esto una contribución solar considerablemente menor a la inicialmente pensada para ambos circuitos, de tal forma que, aun estando el 100% de los captadores dedicados únicamente al sistema de ACS, se consigue cubrir un 13% del consumo total, o en su defecto, dividir este porcentaje tanto en ACS como en calefacción. Por tanto, se concluye que, la opción más recomendable sería concentrar el recurso solar en el uso exclusivo de ACS, asegurando así una optimización más notable de un solo sistema, en vez de contribuir ligeramente a ambos servicios, por lo que la aportación al sistema de calefacción pasaría a un segundo plano. De esta manera, mientras se siga derivando energía a uno de los dos sistemas, se mantiene el objetivo de reducir el consumo de las calderas.

A diferencia del sistema de calefacción, la conclusión obtenida respecto a la refrigeración de la biblioteca es que, aun no siendo estrictamente necesaria la incorporación de este sistema, si bien, resulta una inversión en el confort de los alumnos de la ENM. Además, el circuito de refrigeración necesitaría 50 kW de energía, suministrados tanto por los captadores como por las calderas, para llegar a la temperatura de trabajo, sin embargo, este sistema no solo climatizaría la biblioteca, sino que también contribuiría al sistema de ACS mediante la recirculación de 85 kW de energía residual, generados durante el ciclo de frío solar, aportando una energía de 35 kW de más por cada hora de utilización.

Como conclusión global, se hace notar la existencia de más condicionantes e inconvenientes que si se propusiese dicha instalación en otra zona geográfica, significando que la ENM no goza de las mismas facilidades climáticas que otras escuelas de la Armada Española, como pudiese ser en San Fernando, Canarias o Cartagena, donde el peso de la propuesta sería de mayor relevancia. Sin embargo, la inmensa subida de precio de las energías primarias; agravado todavía más por el conflicto internacional entre Ucrania y Rusia, principal suministrador energético de Europa, hacen del futuro del mercado de la

energía en Europa un futuro incierto e inseguro, dando todavía más crédito e importancia a la independencia energética y por tanto, elevando considerablemente la viabilidad de las energías renovables a medio-largo plazo.

5.2 Líneas futuras

Para concluir, se propone a continuación, una serie de futuras líneas de acción que puedan basarse y tomar referencias del presente TFG, con la finalidad de completar y mejorar el papel de las energías renovables en la ENM y en la Armada Española en general:

- El estudio individual y separado de cada servicio propuesto en el cuartel de alumnos Francisco Moreno (calefacción, ACS y refrigeración), a fin de poder establecer con mayor calidad y precisión, las bases que asienten un sistema eficiente en cada uno de los sistemas mencionados.
- La instalación de captadores solares en escuelas y centros de formación que cuenten con mejores condiciones climáticas (Cartagena, Canarias, Cádiz), asegurando de esta manera el aprovechamiento eficiente de este tipo de energías, y optimizando así, la política sostenible que la Armada Española pretende adquirir en sus centros de instrucción y adiestramiento.
- El estudio de la refrigeración solar en zonas de menor superficie o con necesidades de mayor relevancia, véase la distribución de refrigeración en distintas dependencias del cuartel, como los estudios, las zonas del hall de cada planta, de uso común, o bien, los laboratorios del edificio de investigación del CUD.
- Estudiar la viabilidad de suministrar, mediante energías renovables, otros edificios de menor demanda energética dentro de la propia ENM, como el gimnasio, la jefatura de instrucción, la dirección o las distintas viviendas del sector 7, a fin de ir reduciendo progresivamente el uso de combustibles fósiles en la ENM.
- La implementación de pequeños sistemas solares en distintos buques de la Armada, y concretamente en la ENM, en las lanchas de instrucción, que permitan cubrir la demanda de los circuitos no vitales, concentrando así el máximo porcentaje de energía en los equipos de mayor importancia, alcanzando así una óptima capacidad operativa de las unidades.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Las causas del cambio climático», *Climate Change: Vital Signs of the Planet*. <https://climate.nasa.gov/causas> (accedido 25 de enero de 2022).
- [2] «IRENA RE NDC Tool», *Tableau Software*. https://public.tableau.com/views/IRENARENDCTool/Map?:embed=y&:display_count=no&:showVizHome=no&:toolbar=no (accedido 25 de enero de 2022).
- [3] «La ONU alerta de aumentos de temperatura “sin precedentes” debido al cambio climático.», *EL MUNDO*, 21 de marzo de 2016. Accedido: 25 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.elmundo.es/ciencia/2016/03/21/56eff42a22601ddc5b8b45c9.html>
- [4] Jefatura del Estado, *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*, vol. BOE-A-2021-8447. 2021, pp. 62009-62052. Accedido: 6 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7>
- [5] A. Española, «Plan de Eficiencia Energética: Energías renovables - Acciones frente al Cambio Climático - Medio Ambiente - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosmedioambiente/prefLang-es/03CambioClimatico> (accedido 31 de enero de 2022).
- [6] «La importancia de las energías renovables | ACCIONA | BUSINESS AS UNUSUAL». <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/> (accedido 8 de febrero de 2022).
- [7] «Las energías renovables en el sistema eléctrico español 2020 | Red Eléctrica de España». <https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-de-energias-renovables/informe-2020> (accedido 30 de enero de 2022).
- [8] «Perfil Ambiental en España 2020 [NIPO: 665-20-0309-5]». https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/indicadores-ambientales/Perfil_ambiental_2020.aspx (accedido 30 de enero de 2022).
- [9] «Historia de la energía solar». <https://www.hogarsense.es/energia-solar/historia-energia-solar#pasado> (accedido 25 de enero de 2022).
- [10] «¿Qué es la energía solar? Tipos y principales ventajas», *REPSOL*. <https://www.repsol.com/content/repsol-corporate/es/home/conocenos/que-hacemos/desarrollo-energias-renovables/energia-solar> (accedido 8 de febrero de 2022).
- [11] «Claves de la Calefacción Solar Activa y Pasiva», *Inarquía*, 24 de julio de 2018. <https://inarquia.es/claves-calefaccion-solar-activa-pasiva/> (accedido 8 de febrero de 2022).
- [12] «Calefacción Solar Térmica: Energía Renovable y Rentable.», *Inarquía*, 4 de octubre de 2018. <https://inarquia.es/calefaccion-solar-termica-energia-renovable/> (accedido 9 de febrero de 2022).

- [13] «BOE.es - BOE-A-1999-21567 Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.» <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-21567> (accedido 9 de febrero de 2022).
- [14] «CTE. Código Técnico de la Edificación. Ahorro de energía». <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> (accedido 31 de enero de 2022).
- [15] «L00013-00035.pdf». Accedido: 4 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>
- [16] «documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf». Accedido: 9 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf
- [17] «RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf». Accedido: 9 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>
- [18] «DccHE.pdf». Accedido: 9 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>
- [19] «Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas», p. 92.
- [20] «Guía Técnica de Energía Solar Térmica | Idae». <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-de-energia-solar-termica> (accedido 27 de enero de 2022).
- [21] «Intercambiadores de calor de placas soldadas». <http://www.alfalaval.es/soldados/> (accedido 9 de febrero de 2022).
- [22] «configuracions». <http://epsem.upc.edu/intercanviadorsdec calor/castella/configuracions.html> (accedido 9 de febrero de 2022).
- [23] «Bombas de Rotor Seco - Bombas de Rotor Húmedo - Bombas Circuladoras», *Sedical*. <https://www.sedical.com/categoria-producto/bombas-sedical> (accedido 11 de marzo de 2022).
- [24] «Bombas de rotor húmedo Weishaupt - Industria del agua - Bombas de rotor húmedo». <http://www.interempresas.net/Agua/FeriaVirtual/Producto-Bombas-de-rotor-humedo-Weishaupt-81684.html> (accedido 11 de marzo de 2022).
- [25] «Vasos de expansión – Industrias Ibaiondo | Acumuladores a Presión». <https://ibaiondo.com/productos/vasos-de-expansion/> (accedido 9 de febrero de 2022).
- [26] «valvulas-hidraulicas-D_NQ_NP_740658-MLA25839923404_082017-F – Hidraulica El Cruce». http://hidraulicaelcruce.com/productos/valvulas-hidraulicas-d_nq_np_740658-mla25839923404_082017-f/ (accedido 11 de marzo de 2022).
- [27] H. Acuña Ramírez y L. Febrero Garrido (advisor), «Análisis del consumo energético y del confort en el cuartel “Almirante Francisco Moreno” utilizando herramientas de simulación dinámica», Centro Universitario de la Defensa de Marín, Working Paper, abr. 2020. Accedido: 14 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/337>
- [28] «DBHE.pdf». Accedido: 24 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- [29] I. A. CALORYFRIO, «Actualizado el RITE: descargar Reglamento de las Instalaciones Térmicas en los Edificios - caloryfrio.com». <https://www.caloryfrio.com/noticias/normativas/nuevo-rite.html> (accedido 5 de marzo de 2022).
- [30] «ASHRAE Search | ashrae.org». <https://www.ashrae.org/search?q=solar%20refrigeration> (accedido 9 de marzo de 2022).
- [31] «Cálculo de cargas térmicas: conceptos básicos y métodos | S&P», *S&P Sistemas de Ventilación*, 20 de enero de 2020. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-cargas-termicas/> (accedido 9 de marzo de 2022).

- [32] A. E. de Meteorología, «Pontevedra: Pontevedra - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos> (accedido 24 de febrero de 2022).
- [33] «heliocconcept-captador-vertical-590355.pdf». Accedido: 5 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.saunierduval.es/downloads/solar/heliocconcept/heliocconcept-captador-vertical-590355.pdf>
- [34] «FT_WFC_SC_SH_10_en.pdf». Accedido: 14 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: https://yazaki-nordic.se/onewebmedia/FT_WFC_SC_SH_10_en.pdf

ANEXO I: VISTAS DEL CUARTEL ALMIRANTE FRANCISCO MORENO

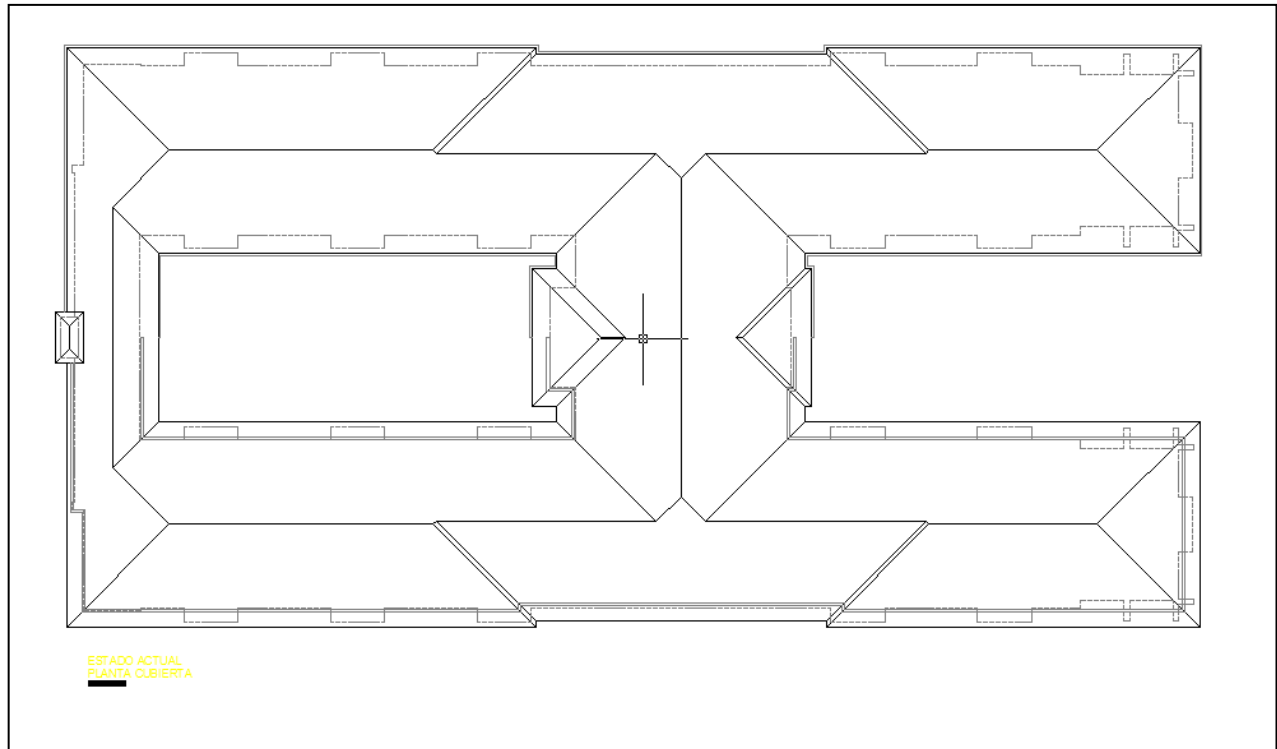


Figura A1-1 Planta cuartel Almirante Francisco Moreno [27].



Figura A1-2 Sección transversal N-S de la Fachada Principal [27].

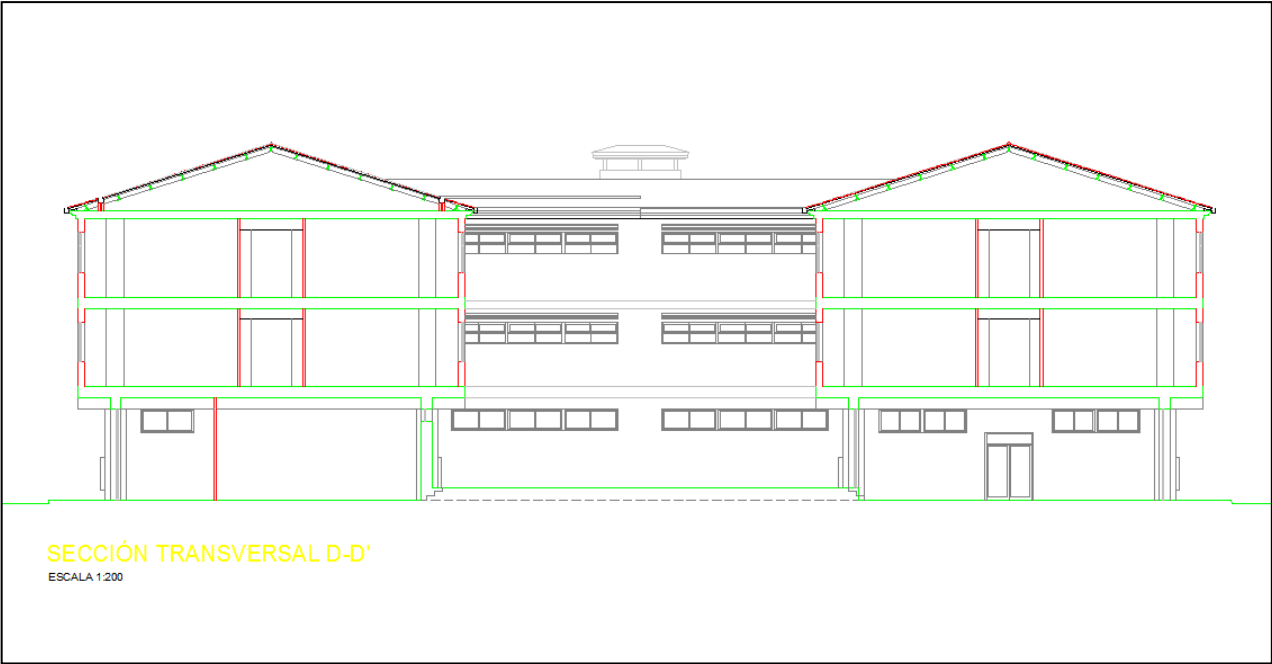


Figura A1-3 Sección transversal N-S de la Fachada Posterior [27].



Figura A1-4 Sección longitudinal W-E de las fachadas S y N, respectivamente [27].

ANEXO II: PLANOS DEL CUARTEL ALMIRANTE FRANCISCO MORENO

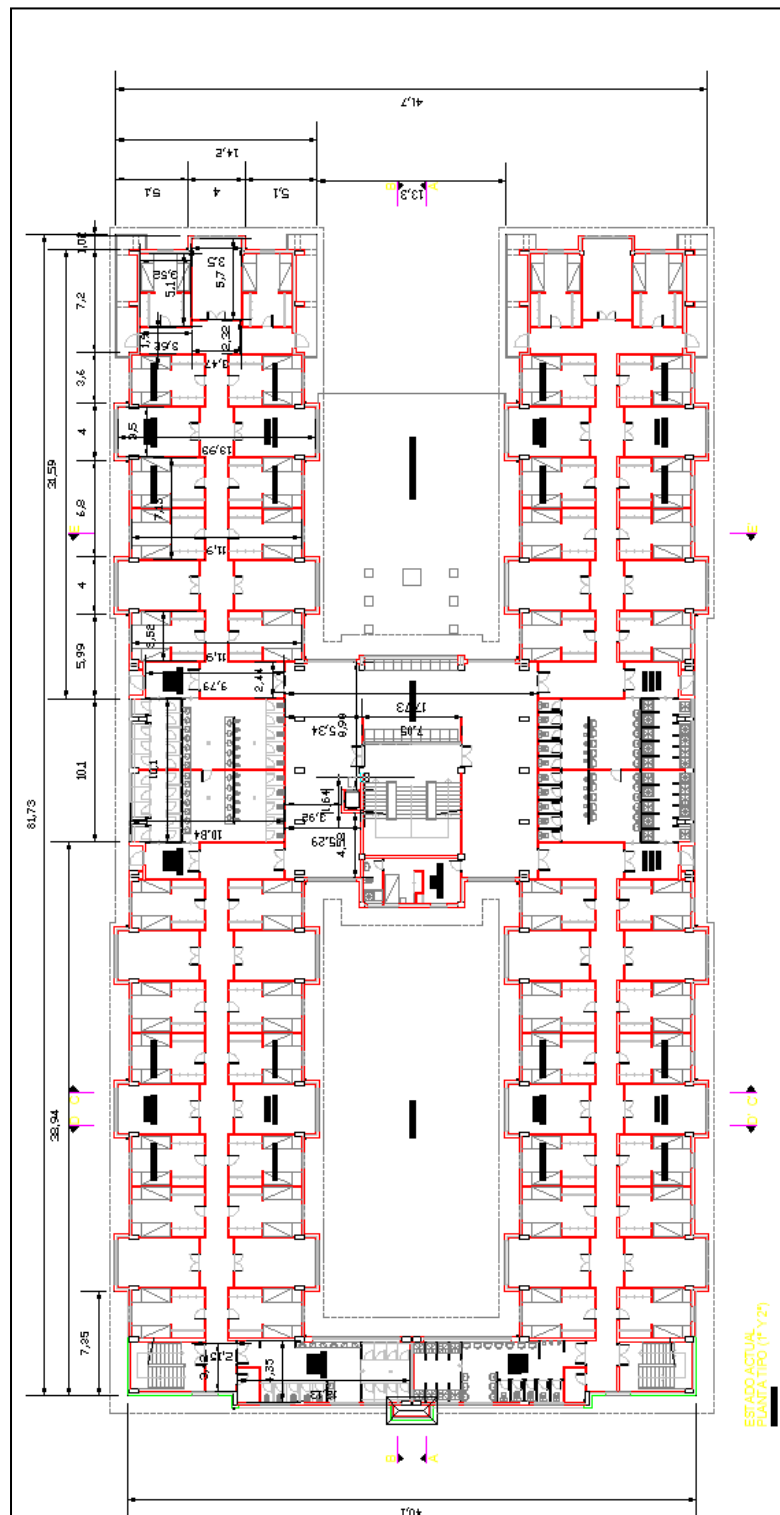


Figura A2-1 Planos 1ª y 2º Plantas cuartel Almirante Francisco Moreno [27].

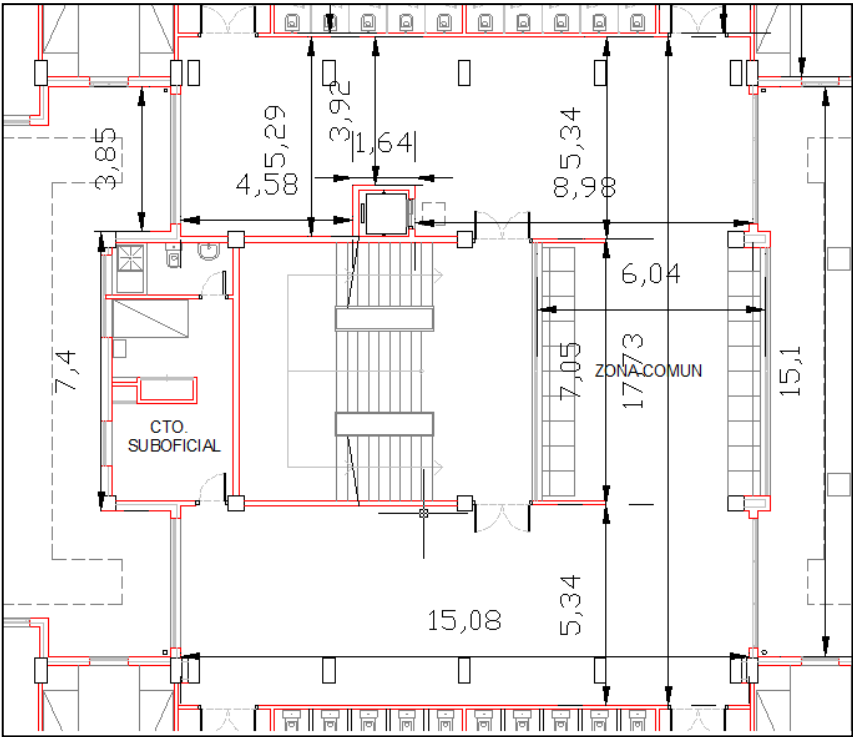


Figura A2-2 Plano Hall 1ª y 2ª Plantas cuartel Almirante Francisco Moreno [27].

ANEXO III: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL CUARTEL ALMIRANTE FRANCISCO MORENO



Figura A3-1 Detalle de las fachadas Principal y Posterior [27].



Figura A3-2 Detalle de las fachadas Norte y Sur [27].



Figura A3-3 Detalle del Patio Interior y Fachada Principal [27].

ANEXO IV: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla B1: Altura de referencia (m) y Temperatura (°C) diaria media mensual de agua fría para las capitales de provincia extraídos de la Norma UNE 94002:2005

	Altura de referencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	5	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante	3	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	1128	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	18	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao	19	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	860	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	439	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	4	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón	30	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	0	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	635	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	123	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	1001	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	75	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	685	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	679	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	56	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	488	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	574	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas Gran Canaria	8	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	838	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	155	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	384	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	454	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	655	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	8	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	2	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	42	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	139	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	232	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	740	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	34	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona	449	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	290	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	800	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	40	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	4	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	15	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	1001	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	12	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	1063	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	51	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	915	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	529	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	13	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	691	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	525	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	649	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	200	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

Figura A4–1 Altura y temperatura de agua fría para todas las provincias [20].

Tabla B2: Irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal (MJ/m2) para todas las provincias extraídos de la Norma UNE 94003:2007												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Álava	5,209	7,976	11,086	14,308	18,369	20,985	21,420	19,249	14,513	10,082	5,971	4,262
Albacete	7,765	10,973	14,944	18,752	22,508	24,999	26,526	23,589	18,197	12,995	8,729	6,993
Almería	9,718	12,619	15,943	19,964	24,132	26,138	26,471	23,675	19,062	14,273	10,521	8,841
Asturias	5,638	7,855	10,989	13,933	15,842	16,999	17,036	15,151	12,493	8,998	6,344	4,958
Ávila	7,215	9,913	13,826	17,428	21,608	24,185	26,529	24,007	17,747	12,073	7,854	6,177
Badajoz	8,004	11,044	15,359	19,298	23,801	25,546	27,506	24,749	18,783	13,485	9,340	7,136
Baleares	8,267	11,264	14,610	18,585	22,376	25,037	25,590	22,807	17,129	12,973	9,060	7,221
Barcelona	7,225	10,240	13,740	17,651	21,182	23,034	24,262	20,888	15,870	11,572	7,995	6,579
Burgos	5,090	7,954	12,011	15,160	19,651	23,502	25,678	22,756	16,270	10,527	6,462	4,322
Cáceres	7,938	10,592	15,902	17,134	23,054	25,358	27,318	24,398	18,102	12,577	8,049	6,401
Cádiz	9,291	12,306	16,394	20,379	24,649	26,290	27,191	25,219	19,402	14,835	10,397	8,511
Cantabria	5,137	7,501	10,919	14,430	17,534	19,803	20,095	17,683	13,775	9,397	6,093	4,349
Castellón	8,474	11,150	15,084	18,365	21,904	23,930	24,647	21,280	17,315	12,682	9,250	7,428
Ceuta	8,654	11,453	14,958	18,523	21,719	24,362	24,300	22,547	18,069	12,845	9,645	8,002
Ciudad Real	7,391	10,471	14,651	18,290	23,119	25,244	27,360	24,562	18,182	12,736	8,550	6,574
Córdoba	8,801	11,567	15,102	18,200	23,090	25,540	27,179	24,894	18,745	13,469	10,086	7,967
Coruña La	5,306	7,801	11,405	15,167	18,222	20,619	21,815	19,731	14,296	10,204	6,197	4,531
Cuenca	6,999	9,666	13,613	16,839	20,912	23,783	26,156	23,314	17,402	12,047	7,968	6,139
Girona	7,167	9,446	12,670	16,192	18,751	20,661	22,615	19,721	14,973	10,918	7,805	6,268
Granada	8,996	11,696	15,899	19,156	23,972	26,676	27,771	25,069	19,114	13,925	9,892	7,960
Guadalajara	6,132	8,561	12,089	15,593	19,528	22,382	25,496	22,704	16,621	11,128	7,094	5,599
Guipúzcoa	5,073	7,213	10,635	12,924	16,378	18,127	18,522	16,436	13,487	9,334	5,999	4,387
Huelva	8,457	11,666	15,472	19,880	23,977	25,567	27,129	24,777	19,411	13,726	9,576	7,462
Huesca	6,575	10,337	14,515	18,868	21,882	24,439	25,919	22,691	17,184	11,973	7,726	5,897
Jaén	8,662	11,572	15,687	19,280	24,019	26,109	27,897	24,557	18,774	13,722	10,352	7,419
León	6,374	9,231	13,519	17,245	20,842	23,660	25,488	22,492	16,381	11,015	7,345	5,534
Lérida	6,635	11,176	15,389	19,809	23,534	25,801	26,661	23,338	17,796	12,710	7,791	5,805
Logroño	5,772	9,069	12,848	16,094	19,493	22,852	24,192	21,595	15,994	11,058	6,696	4,995
Lugo	4,876	7,530	11,194	15,371	17,408	20,526	20,927	18,978	13,681	9,494	5,787	4,089
Madrid	6,777	9,585	13,628	17,426	21,385	23,914	25,886	23,058	17,189	11,774	7,674	5,983
Málaga	9,354	12,034	16,078	19,325	23,926	25,853	26,531	24,062	18,901	14,069	10,197	8,427
Melilla	9,466	11,745	15,013	18,417	21,363	23,097	22,806	21,040	16,368	13,265	10,124	8,566
Murcia	8,777	11,663	14,323	17,910	21,937	23,183	23,453	21,059	16,566	13,066	9,488	7,762
Navarra	5,275	8,279	12,384	15,244	18,694	22,758	24,237	21,105	16,528	10,626	6,430	4,701
Orense	4,977	7,375	11,698	15,523	17,950	20,629	21,977	20,884	15,584	9,565	5,964	4,312
Palencia	5,848	9,614	13,499	17,860	22,316	25,121	27,116	24,039	17,091	11,536	7,542	4,828
Palmas Las	13,395	15,967	19,232	22,074	23,826	24,272	24,289	22,875	20,448	17,158	14,091	12,464
Pontevedra	5,913	8,226	12,981	17,629	20,045	24,529	25,502	23,123	16,746	11,501	7,218	5,489
Salamanca	6,622	10,032	14,194	18,062	22,562	25,274	27,133	24,478	17,745	12,131	7,877	5,720
S. C. Tenerife	13,301	16,583	19,460	22,619	24,573	25,359	26,243	25,121	21,927	17,877	14,370	12,437
Segovia	6,164	8,614	12,491	15,704	19,770	22,992	25,876	23,294	17,000	11,021	7,059	5,358
Sevilla	9,140	12,230	16,007	19,764	24,141	25,893	27,239	24,812	19,174	14,295	10,209	8,298
Soria	6,032	8,597	12,504	16,181	20,427	24,043	26,139	22,913	16,403	10,808	6,912	5,488
Tarragona	7,870	10,470	14,964	18,466	21,414	23,532	24,684	21,262	16,851	12,335	8,606	7,087
Teruel	7,175	10,548	13,992	17,746	20,200	22,914	25,051	22,443	17,205	12,200	8,627	5,658
Toledo	7,770	10,454	15,632	18,189	22,706	26,046	27,498	24,590	18,248	12,713	8,020	6,354
Valencia	8,342	10,922	14,987	18,492	21,671	23,173	24,363	21,854	17,601	12,823	9,002	7,368
Valladolid	5,381	8,942	13,702	17,614	21,799	24,749	26,865	24,196	17,270	11,419	6,719	4,611
Vizcaya	4,479	6,729	9,556	11,976	15,224	16,899	17,272	15,256	12,400	8,550	5,317	3,891
Zamora	6,075	9,778	14,099	18,409	22,109	25,015	26,871	23,935	17,606	11,911	7,557	5,264
Zaragoza	6,398	9,778	13,793	17,381	21,520	23,848	25,312	22,488	16,507	11,639	7,452	5,659

Figura A4-2 Irradiación global diaria mensual sobre superficie horizontal por provincias [20].

Tabla B3: Temperatura ambiente diaria media mensual (°C) para todas las capitales de provincia extraídos de la Norma UNE 94003:2007												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
Alicante	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
Almería	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
Ávila	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
Badajoz	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
Barcelona	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
Bilbao	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5
Burgos	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
Cáceres	7,8	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8
Cádiz	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
Castellón	10,1	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2
Ceuta	11,5	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1
Ciudad Real	5,7	7,2	9,6	11,9	16,0	20,8	25,0	24,7	21,0	14,8	9,1	5,9
Córdoba	9,5	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7
Cuenca	4,2	5,2	7,4	9,6	13,6	18,2	22,4	22,1	18,6	12,9	7,6	4,8
Gerona	6,8	7,9	9,8	11,6	15,4	19,4	22,8	22,4	19,9	15,2	10,2	7,7
Granada	6,5	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4
Guadalajara	5,5	6,8	8,8	11,6	15,3	19,8	23,5	22,8	19,5	14,1	9,0	5,9
Huelva	12,2	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5
Huesca	4,7	6,7	9,0	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3
Jaén	8,7	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7
La Coruña	10,2	10,5	11,3	12,1	14,1	16,4	18,4	18,9	18,1	15,7	12,7	10,9
Las Palmas	17,5	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3
León	3,1	4,4	6,6	8,6	12,1	16,4	19,7	19,1	16,7	11,7	6,8	3,8
Lérida	5,5	7,8	10,3	13,0	17,1	21,2	24,6	24,0	21,1	15,7	9,2	5,8
Logroño	5,8	7,3	9,4	11,5	15,1	19,0	22,2	21,8	19,2	14,4	9,1	6,3
Lugo	5,8	6,5	7,8	9,5	11,7	14,9	17,2	17,5	16,0	12,5	8,6	6,3
Madrid	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
Málaga	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
Melilla	13,2	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1
Murcia	10,6	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3
Orense	7,4	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2
Oviedo	7,5	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7
Palencia	4,1	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4
Palma de Mallorca	11,6	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0
Pamplona	4,5	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7
Pontevedra	9,9	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3
Salamanca	3,7	5,3	7,3	9,6	13,4	17,8	21,0	20,3	17,5	12,3	7,0	4,1
San Sebastián	7,9	8,5	9,4	10,7	13,5	16,1	18,4	18,7	18,0	15,2	10,9	8,6
S. C. Tenerife	17,9	18,0	18,6	19,1	20,5	22,2	24,6	25,1	24,4	22,4	20,7	18,8
Santander	9,7	10,3	10,8	11,9	14,3	17,0	19,3	19,5	18,5	16,1	12,5	10,5
Segovia	4,1	5,2	7,1	9,1	13,1	17,7	21,6	21,2	17,9	12,6	7,3	4,3
Sevilla	10,7	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1
Soria	2,9	4,0	5,8	8,0	11,8	16,1	19,9	19,5	16,5	11,3	6,1	3,4
Tarragona	10,0	11,3	13,1	15,3	18,4	22,2	25,3	25,3	22,7	18,4	13,5	10,7
Teruel	3,8	4,8	6,8	9,3	12,6	17,5	21,3	20,6	17,9	12,1	7,0	4,5
Toledo	6,1	8,1	10,9	12,8	16,8	22,5	26,5	25,7	22,6	16,2	10,7	7,1
Valencia	10,4	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18,3	13,7	10,9
Valladolid	4,1	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8
Vitoria	4,6	6,0	7,2	9,2	12,4	15,6	18,3	18,5	16,5	12,7	7,5	5,0
Zamora	4,3	6,3	8,3	10,5	14,0	18,5	21,8	21,3	18,7	13,4	8,1	4,9
Zaragoza	6,2	8,0	10,3	12,8	16,8	21,0	24,3	23,8	20,7	15,4	9,7	6,5

Figura A4-3 Temperatura ambiente diaria media mensual por provincias [20].

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9.6	12.9	6.3	178	77	14.3	0.1	1.3	2.0	0.6	6.5	103
Febrero	10.4	14.2	6.5	133	72	11.3	0.0	0.8	1.8	0.4	6.1	123
Marzo	12.4	16.9	7.8	120	68	11.2	0.0	1.1	1.5	0.2	7.5	181
Abril	13.0	17.6	8.4	143	69	14.2	0.0	1.2	1.9	0.0	5.7	203
Mayo	15.8	20.6	10.9	118	69	12.0	0.0	2.2	1.9	0.0	5.2	238
Junio	18.6	23.8	13.4	64	67	7.0	0.0	0.8	2.6	0.0	9.2	262
Julio	20.4	25.9	14.9	44	67	5.1	0.0	0.7	3.1	0.0	12.7	294
Agosto	20.6	26.0	15.2	56	68	5.5	0.0	0.8	3.7	0.0	10.8	279
Septiembre	18.8	23.7	13.8	95	72	8.4	0.0	0.9	4.2	0.0	9.2	224
Octubre	15.7	19.6	11.7	224	76	13.6	0.0	1.5	3.1	0.0	6.1	145
Noviembre	12.1	15.4	8.7	222	78	14.1	0.0	1.3	2.7	0.0	6.0	104
Diciembre	10.3	13.4	7.1	216	77	14.4	0.0	1.2	2.9	0.5	7.2	91
Media Anual	14.8	19.2	10.4	1613	72	131.3	0.2	13.9	31.9	1.8	92.5	-

Tabla A4-1 Datos climáticos Pontevedra 2021 [32].

Leyenda

T	Temperatura media mensual/anual (°C)
TM	Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
Tm	Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
R	Precipitación mensual/anual media (mm)
H	Humedad relativa media (%)
DR	Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
DN	Número medio mensual/anual de días de nieve
DT	Número medio mensual/anual de días de tormenta
DF	Número medio mensual/anual de días de niebla
DH	Número medio mensual/anual de días de helada
DD	Número medio mensual/anual de días despejados
I	Número medio mensual/anual de horas de sol

ANEXO V: DATOS TÉCNICOS DEL CAPTADOR SOLAR SAUNIER DUVAL HELIOPLAN SRV 2.3.

Descripción	Unidad	SCV 2.3	SRV 2.3
Tipo de absorbedor		Serpentín con colector	Serpentín con colector
Revestimiento del dispositivo de absorción		Revestimiento selectivo	Revestimiento muy selectivo
Peso neto	kg	38	38
Volumen	l	1.85	1.85
Presión máxima	bar	10	10
	kPa	1000	1000
Superficie bruta del captador	m ²	2.51	2.51
Apertura	m ²	2.35	2.35
Absorbencia del dispositivo de absorción (α)	%	90	95
Emisión del dispositivo de absorción (ϵ)	%	10	5
Tipo de vidrio		Vidrio de seguridad transparente	Vidrio de seguridad estructurado
Rendimiento óptico η_0	%	75.3	79
Coefficiente lineal de transmisión térmica K1	W/(m ² k)	3.94	2.41
Coefficiente cuadrático de transmisión térmica k2	W/(m ² k ²)	0.017	0.049
Temperatura máxima	°C	160	170
Potencia máxima	kW	1.77	1.86
Capacidad térmica	kJ/m ² k	9.09	8.09
Ancho del captador solar	mm	2033	2033
Longitud del captador solar	mm	1233	1233
Grosor del captador solar	mm	80	80

Figura A5–1 Datos técnicos captador HelioPLAN SRV 2.3 [33].

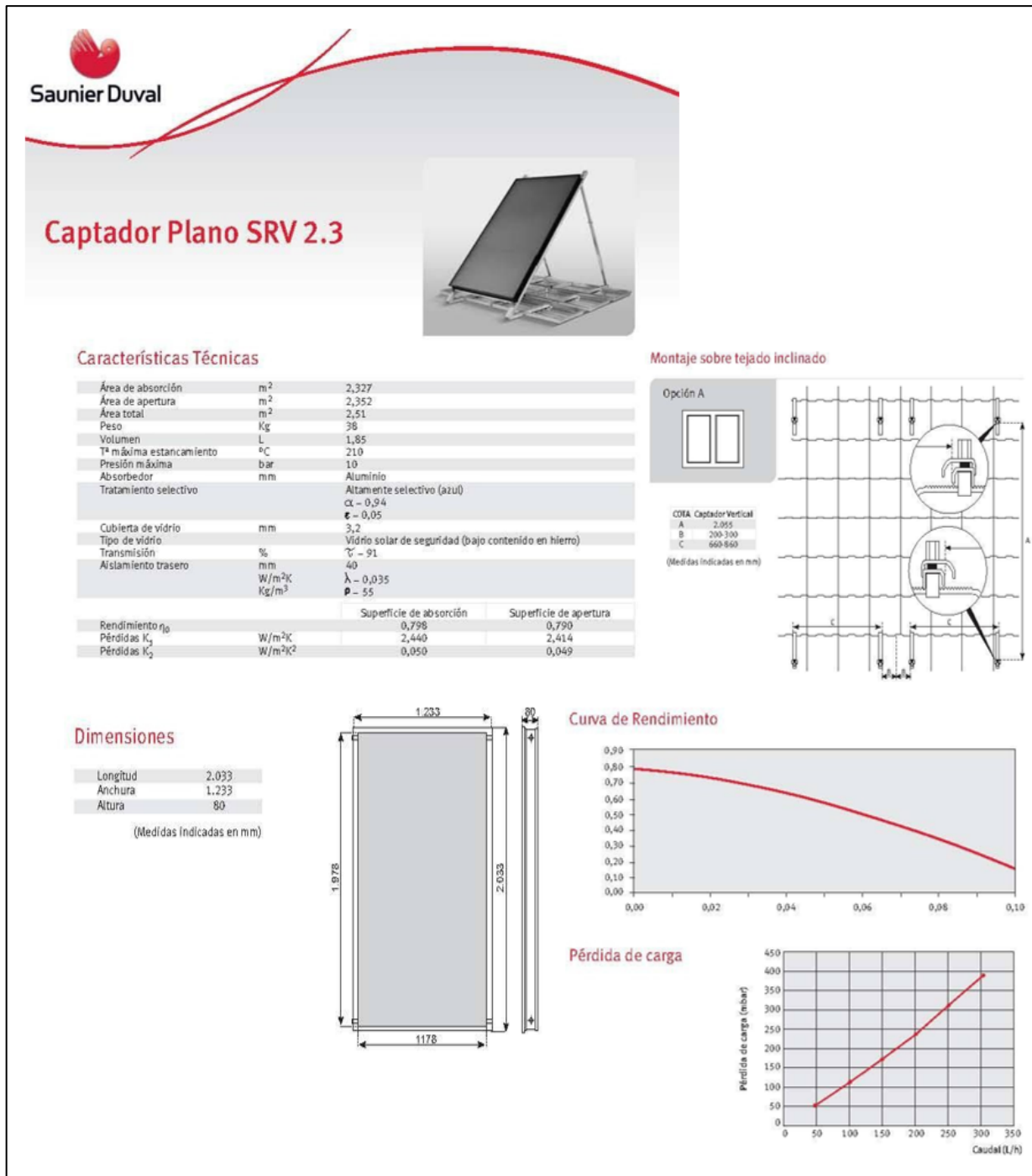


Figura A5-2 Datos técnicos captador solar HelioPLAN SRV 2.3 [33].

ANEXO VI: DATOS TÉCNICOS DE LA MÁQUINA DE ABSORCIÓN YAZAKI WFC-SH-10



WFC-SC 10 & -SH 10

Specifications:

Water Fired Chiller absorption type with H₂O/LiBr

System functionality provides cooling

Heating with an automatic change over control mode (SH model only)

Utilizing Hot Water



Model	Production
WFC-SC10	Chilled Water
WFC-SH10	Chilled & Heating Water

ITEM		MODEL		WFC-SH10	WFC-SC10
Cooling Capacity			kW	35.2	
Heating Capacity			kW	48.7	-
Chilled Water and Hot Water	Chilled Water	Inlet	°C	12.5	
	Temperature	Outlet	°C	7.0	
	Hot Water	Inlet	°C	47.4	-
	Temperature	Outlet	°C	55.0	-
	Evaporator Pressure Loss(Max) *3		kPa	56.1	
	Max Operating Pressure		kPa	588	
	Rated Water Flow		L/sec	1.52	
	Water Retention Volume		m ³ /hr	5.47	
Cooling Water	Heat Rejection		L	17	
	Heat Rejection		kW	85.4	
	Cooling Water	Inlet	°C	31.0	
	Temperature	Outlet	°C	35.0	
	Abs.&Cond.Pressure Loss(Max) *3		kPa	85.3	
	Max Operating Pressure		kPa	588	
	Rated Water Flow		L/sec	5.1	
	Water Retention Volume		m ³ /hr	18.4	
Heat Medium	Heat Input		L	66	
	Heat Input		kW	50.2	
	Heat Medium	Inlet	°C	88	
	Temperature	Outlet	°C	83	
	Inlet Limit		°C	70 - 95	
	Generator. Pressure Loss(Max) *3		kPa	90.4	
	Max Operating Pressure		kPa	588	
	Rated Water Flow		L/sec	2.4	
Electrical	Power Source		m ³ /hr	8.64	
	Consumption *1		L	21	
Control				400V 50Hz 3ph.	
Dimension				210	
Piping	Width		mm	On-Off	
	Depth		mm	760 (855)	
	Height *2		mm	970	
Weight	Chilled Water		A	1,900 (1,983)	
	Cooling Water		A	40	
	Heat Medium		A	50	
Weight	Dry Weight		kg	40	
	Operating Weight		kg	500	
				600	

*1. Power consumption of Chiller Only.(excluding recirculating pumps and cooling tower fan)

*2. Dimension in () include fixed plate and eye bolt.

*3. Specification are subject to change without prior notice.

*. The table shows standard operating condition (i.e. 88 °C heat medium inlet temperature)

Figura A6-1 Datos técnicos máquina absorción Yazaki WFC-SH-10 [34].

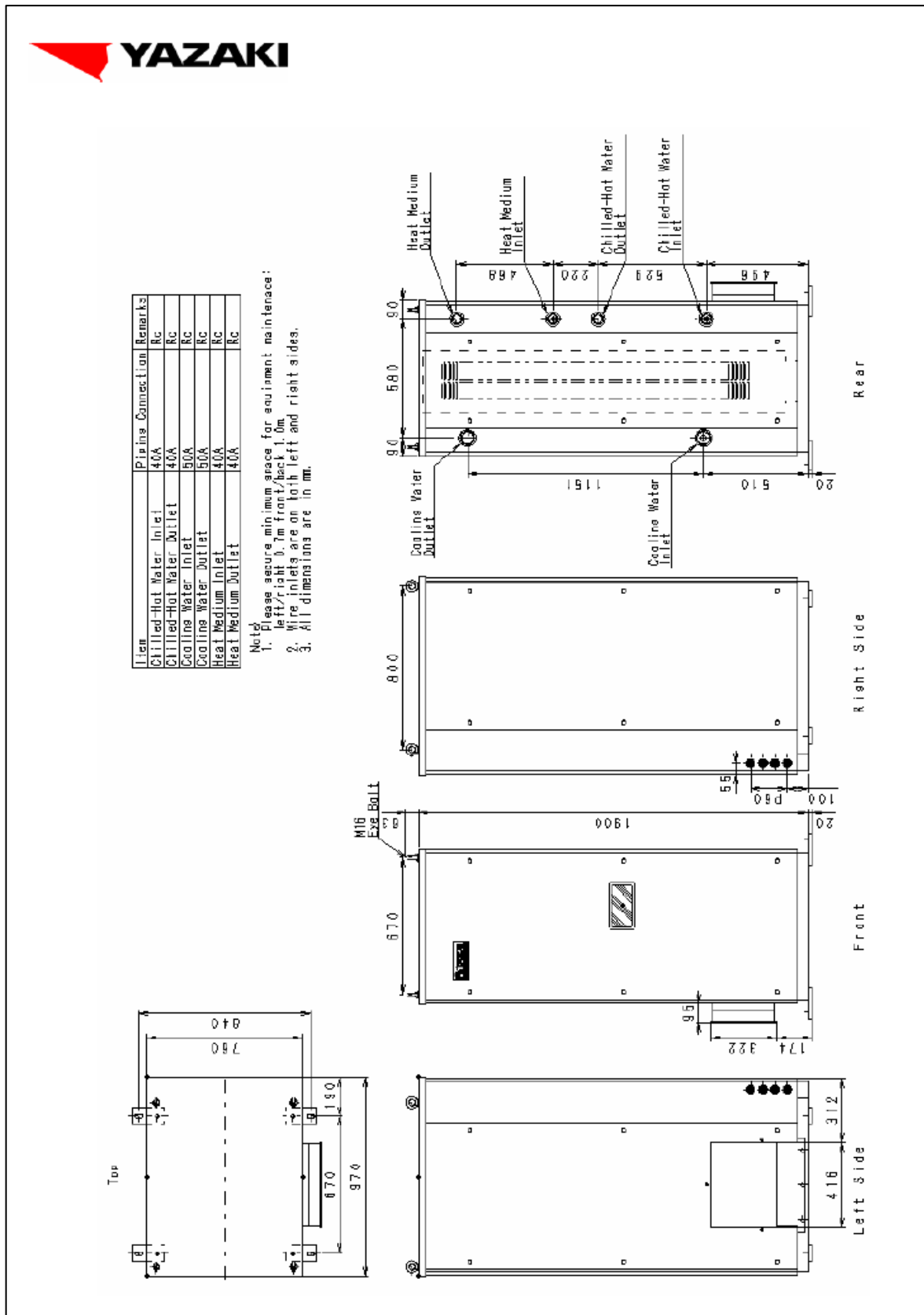


Figura A6-2 Datos técnicos máquina absorción Yazaki WFC-SH-10 [34].

