



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica
para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

“A mi familia, a mis amigos, a mis tutores del TFG,
y a todos aquellos que me han apoyado todo este
tiempo y que siempre han confiado en mí”

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado estudia el aprovechamiento de la energía solar como fuente de energía para producir agua caliente sanitaria (ACS) para consumo humano. Para ello, se ha realizado el diseño de una instalación de energía solar térmica que satisfaga las necesidades de ACS en un edificio de viviendas situado en la ciudad de Córdoba, Andalucía.

Se ha llevado a cabo el análisis y dimensionado de un tipo de configuración, y de cada uno de los componentes que lo forman, captación, distribución, acumulación y seguridad. En primer lugar, se ha desarrollado el estudio de la demanda energética necesaria para el edificio, y con ello poder dimensionar el resto de elementos de manera que se ajusten a las exigencias de consumo.

Para llevarlo a cabo se ha tenido en cuenta el cumplimiento de la normativa vigente y aplicable a este tipo de instalaciones, además de desarrollar un diseño lo más óptimo posible desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Se ha utilizado el programa CHEQ4 para simular los parámetros de la instalación y comprobar que se cumple con dicha normativa.

Se ha generado un presupuesto de los elementos necesarios a instalar, además de los consumos producidos, obteniendo finalmente un resultado favorable en cuanto a rentabilidad.

Palabras clave: Energía solar térmica, circuito hidráulico, Agua Caliente Sanitaria (ACS), ahorro energético, demanda energética, IDAE, CTE, RITE.

ABSTRACT

This thesis study the use of solar energy, as an energy source to produce domestic hot water (DHW) for human consumption. For that purpose, the design of a solar thermal system has been realised to satisfy the necessity of DHW in an apartment building localized in Córdoba, Andalucía.

The analysis and the measured of a type of configuration has been carried out, and every one of the components that form it, catchment system, distribution, accumulation and safety. In first place, the energetic demand study necessary to the building has been developed, and with this it able to measure the rest of elements in the way that fits to the consumption requirements.

To make it possible the compliance of the current regulation which is applicable to this kind of installations has been kept in mind, furthermore to develop the most optimal design possible from the technical, economic and environmental point of view. The CHEQ4 program has been used to simulate the parameters of the installation and make sure that the regulation has been respected.

A budget of the necessary elements to install has been generated, in addition to the consumption produced, finally obtaining a favourable result in terms of profitability.

Keywords: solar thermal energy, hydraulic circuit, domestic hot water (DHW), energy saving, energy demand, IDAE, CTE, RITE.

ÍNDICE GENERAL

Documentos contenidos en el Trabajo Fin de Grado

- Memoria
- Presupuesto
- Anexos
- Planos

Documento I: MEMORIA

1	OBJETO DEL PROYECTO.....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1	ANTECEDENTES.....	2
2.2	MOTIVACIÓN.....	3
2.3	JUSTIFICACIÓN.....	3
2.4	NORMATIVA.....	4
2.5	APROVECHAMIENTOS SOLAR EN EDIFICIOS.....	5
2.6	DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO DE ESTUDIO.....	7
2.6.1	Emplazamiento.....	7
2.6.2	Características del edificio.....	8
3	DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO SOLAR.....	9
3.1	DISEÑO DE LOS COLECTORES SOLARES.....	9
3.1.1	Cálculo demanda de agua.....	9
3.1.2	Cálculo de la demanda energética.....	11
3.1.3	Cálculo de la aportación de energía solar.....	12
3.1.4	Cálculo de la superficie de captación.....	15
3.1.5	Estudio comparativo de modelos de captadores solares.....	17
3.1.6	Estudio del tipo de configuración y número de captadores.....	21
3.1.7	Estudio acerca de la disposición de captadores.....	25
3.2	DIMENSIONADO DEL ACUMULADOR.....	33
3.3	DIMENSIONADO DEL INTERCAMBIADOR.....	34
3.4	DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE APOYO.....	35
3.4.1	Diseño interacumulador.....	35
3.4.2	Diseño de la caldera.....	36
3.5	DIMENSIONADO CIRCUITO PRIMARIO.....	37
3.5.1	Fluido caloportador.....	39

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica
para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

3.5.2	Cálculo de pérdidas de carga en tuberías y accesorios (cto. primario).....	40
3.5.3	Cálculo de pérdidas de carga en los captadores	43
3.5.4	Cálculo de pérdidas de carga del intercambiador (cto. primario)	44
3.5.5	Dimensionado de la bomba de recirculación del circuito primario	44
3.5.6	Dimensionado del vaso de expansión del circuito primario	46
3.6	DIMENSIONADO DEL CIRCUITO SECUNDARIO	49
3.6.1	Fluido caloportador	49
3.6.2	Cálculo de pérdidas de carga en tuberías y accesorios (secundario).....	49
3.6.3	Cálculo de pérdidas de carga del intercambiador (secundario).....	51
3.6.4	Cálculo de bomba del secundario	51
3.6.5	Dimensionado vaso de expansión secundario	52
3.7	DIMENSIONADO DISTRIBUCIÓN A SUBESTACIONES.....	53
3.7.1	Fluido caloportador	53
3.7.2	Cálculo de las tuberías de distribución.....	54
3.7.3	Pérdida de carga de los circuitos de distribución y consumo	55
3.7.4	Circuito de recirculación.....	57
3.8	AISLAMIENTO EN LAS CONDUCCIONES	57
3.9	PROTECCIÓN CONTRA LA LEGIONELOSIS.....	59
3.10	SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL	60
3.11	ELEMENTOS DE SEGURIDAD	60
3.11.1	Disipador de energía dinámico.....	60
3.11.2	Válvulas.	61
3.11.3	Equipos de medida.....	62
4	COMPROBACIÓN Y CERTIFICADO PROPORCIONADO POR EL CHEQ.4.....	62
5	VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	64
5.1	ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	64
5.2	ESTUDIO DE VIABILIDAD AMBIENTAL	64
5.2.1	Energía aportada por los diferentes sistemas de la instalación.....	65
5.2.2	Estudio sin instalación solar	66
5.2.3	Estudio con instalación solar	66
5.2.4	Conclusión viabilidad ambiental	67
5.3	ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNOLÓGICA	68
6	BIBLIOGRAFÍA.....	69

Documento II: PRESUPUESTO

1	PRESUPUESTO DE EQUIPOS Y MATERIALES	72
2	PRESUPUESTO DEL CONSUMO ENERGÉTICO	74
3	VIABILIDAD ECONÓMICA	74

Documento III: ANEXOS

1	ANEXO I. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	77
2	ANEXO II. CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO ANTICONGELANTE.....	85
3	ANEXO III. PASOS DEL PROGRAMA CHEQ4 Y CERTIFICADO	88

Documento IV: PLANOS

1	DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS EN UNA PLANTA TIPO	
2	DISTRIBUCIÓN DE LA SALA DE MÁQUINAS	
3	DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS Y CAPTADORES EN LA CUBIERTA	
4	DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS Y ELEMENTOS DEL SISTEMA EN EL PLANO LATERAL IZQ.	
5	ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN CON TODO CENTRALIZADO	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema tipo de una instalación con aprovechamiento solar	5
Figura 2. Situación geográfica del municipio.....	7
Figura 3. Ubicación del edificio objeto de estudio.....	7
Figura 4. Distribución de una planta de viviendas tipo.....	8
Figura 5. Demanda de ACS de referencia a 60°C.....	9
Figura 6. Consumo de Agua Caliente Sanitaria mensual.....	10
Figura 7. Demanda energética mensual (MJ/mes)	12
Figura 8. Mapa de zonas climáticas de España	13
Figura 9. Contribución solar mínima anual para ACS en %	13
Figura 10. Radiación solar global media diaria anual.....	14
Figura 11. Curva de rendimiento de los tres captadores solares.....	19
Figura 12. Esquema instalación con todo centralizado.....	22
Figura 13. Evolución fracción solar en función de número de captadores (inst. centralizada)	23
Figura 14. Esquema instalación con acumulación distribuida	23
Figura 15. Evolución fracción solar en función del nº de captadores (inst. distribuida)	24
Figura 16. Pérdidas límite de la instalación impuestas en el DB HE-4	25
Figura 17. Planta del edificio	26
Figura 18. Ángulos de inclinación θ , orientación ϕ respecto a la normal β de una superficie	27
Figura 19. Cubierta en la que se sitúan los captadores.....	27
Figura 20. Situación captador respecto al murete perimetral.....	28
Figura 21. Esquema del estudio de los puntos que producen sombra.....	29
Figura 22. Coordenadas cartesianas y angulares de un punto.	29
Figura 23. Diagrama de trayectorias del Sol.	30
Figura 24. Esquema separación de captadores.....	31
Figura 25. Esquema distribución de captadores en cubierta.....	32
Figura 26. Catálogo acumulador solar.....	33
Figura 27. Catálogo del intercambiador de calor.....	34
Figura 28. Catálogo interacumulador de apoyo.....	35
Figura 29. Catálogo caldera de apoyo	36
Figura 30. Esquema circuito primario	37
Figura 31. Esquema distribución de tuberías en cubierta.....	38
Figura 32. Concentración de anticongelante (% en peso)	39
Figura 33. Catálogo fluido calor-portante	40
Figura 34. Pérdida por rozamiento (mm c.a. por m) para tubería de cobre, (circuito primario)	42
Figura 35. Pérdida de carga de un captador solar	43
Figura 36. Diagrama H-Q de bombas Wilo-Stratos	45
Figura 37. Curva característica de la bomba Wilo-Stratos 30/1-8.....	45
Figura 38. Catálogo Vaso de expansión 1º.....	48
Figura 39. Esquema circuito secundario	49
Figura 40. Pérdida por rozamiento (mm c.a. por m) para tubería de cobre, (circuito secundario). 50	
Figura 41. Curva característica de la bomba Wilo-Stratos 30/1-6	51
Figura 42. Catálogo Vaso de expansión 2º.....	53

Figura 43. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato.....	54
Figura 44. Pérdida por rozamiento (mm c.a. por m) para tubería de cobre, (circuito secundario).	56
Figura 45. Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías en interior de edificios.....	58
Figura 46. Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías en exterior de edificios.....	58
Figura 47. Modelo del sistema de regulación y control.....	60
Figura 48. Resultado de la simulación de la instalación con el programa CHEQ4.....	63
Figura 49. Gráfico del ahorro mensual de emisiones de CO2 (kg).....	67
Figura 50. Catálogo del captador solar.....	77
Figura 51. Catálogo del intercambiador de placas.....	78
Figura 52. Catálogo del acumulador e interacumulador.....	79
Figura 53. Catálogo de la caldera de apoyo.....	80
Figura 54. Catálogo del anticongelante (propilenglicol).....	81
Figura 55. Catálogo de las bombas de circulación.....	82
Figura 56. Catálogo del vaso de expansión.....	83
Figura 57. Catálogo del sistema de regulación y control.....	84
Figura 58. Curvas de la concentración de propilenglicol (%) en función de la densidad.....	85
Figura 59. Curvas de la concentración de propilenglicol (%) en función del calor específico.....	86
Figura 60. Curvas de la concentración de propilenglicol (%) en función de la viscosidad.....	87
Figura 61. Paso 1 del CHEQ4, Localización del edificio.....	88
Figura 62. Paso 2 del CHEQ4, Configuración de la instalación.....	88
Figura 63. Paso 3 del CHEQ4, Demanda de ACS.....	89
Figura 64. Paso 4 del CHEQ4, Parámetros de los circuitos primario y secundario.....	89
Figura 65. Paso 5 del CHEQ4, Parámetros del circuito de distribución y otros.....	90
Figura 66. Resultado final del CHEQ4.....	90
Figura 67. Certificado de cumplir con el CTE (pág. 1).....	91
Figura 68. Certificado de cumplir con el CTE (pág. 2).....	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cálculo de la demanda de agua.....	10
Tabla 2. Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)	11
Tabla 3. Cálculo de la demanda energética mensual (MJ).....	11
Tabla 4. Resumen radiación solar de dos fuentes de datos.....	15
Tabla 5. Temperaturas ambiente, entrada del agua en captador y media en el absorbedor	17
Tabla 6. Variación de la temperatura en el rango de trabajo	18
Tabla 7. Diferencia porcentual de rendimiento de los captadores solares	20
Tabla 8. Comparación rendimiento y coste de ambos captadores solares	20
Tabla 9. Comparación rendimiento y coste/m ² de ambos captadores solares	20
Tabla 10. Comparación rendimiento de ambos captadores solares.....	20
Tabla 11. Fracción solar respecto la inclinación de los captadores	26
Tabla 12. Factor de corrección, k1, para temperaturas medias del agua distintas a de 45°C.....	40
Tabla 13. Cálculo pérdida de carga en el circuito primario.....	42
Tabla 14. Pérdidas de carga en el circuito primario	44
Tabla 15. Volumen del fluido del circuito primario.....	46
Tabla 16. Pérdidas de carga en las tuberías del circuito secundario	50
Tabla 17. Pérdidas de carga en las tuberías del circuito secundario	51
Tabla 18. Volumen del fluido del circuito secundario.....	52
Tabla 19. Caudal instantáneo mínimo de ACS por planta, tipo y edificio (l/s).....	54
Tabla 20. Cálculo pérdida de carga circuito de distribución.....	56
Tabla 21. Espesores de aislamiento en tuberías	58
Tabla 22. Demanda energética, Aporte solar y Consumo auxiliar (kWh) (sin pérdidas)	65
Tabla 23. Demanda energética, Aporte solar y Consumo auxiliar (kWh) (con pérdidas)	66
Tabla 24. Presupuesto del circuito primario (€).....	72
Tabla 25. Presupuesto del circuito secundario (€).....	72
Tabla 26. Presupuesto del circuito de apoyo (€).....	73
Tabla 27. Presupuesto del circuito de distribución (€).....	73
Tabla 28. Presupuesto de las conducciones (€)	73
Tabla 29. Presupuesto del aislamiento (€).....	73
Tabla 30. Presupuesto total de equipo y materiales	74
Tabla 31. Tarifa regulada del Gas Natural	74
Tabla 32. Cálculo del TIR a 25 años	75

MEMORIA

1 OBJETO DEL PROYECTO

El objeto principal de este Trabajo Fin de Grado consiste en el diseño de una instalación de energía solar térmica que satisfaga las necesidades de Agua Caliente Sanitaria (ACS), en un edificio de viviendas situado en la ciudad de Córdoba. Se llevará a cabo el análisis de la configuración o tipo de instalación seleccionada de entre las existentes para este tipo de proyectos.

Para ello se tendrán en cuenta las exigencias y recomendaciones de la normativa y guía técnica, expuestas en el apartado 2.4, que regulan los diferentes aspectos a tener en cuenta para un correcto cálculo, dimensionamiento y ejecución.

Se definen los siguientes objetivos del proyecto para su correcto desarrollo:

- Cálculo de la demanda de ACS y energética del edificio de viviendas.
- Cálculo y diseño de la instalación solar con cada uno de los componentes de la instalación: captación, distribución, acumulación y seguridad.
- Análisis y dimensionado hidráulico de los circuitos de la instalación.
- Análisis del beneficio medioambiental que se produciría con la construcción de la instalación solar térmica.
- Valoración económica del proyecto así como análisis de la rentabilidad del mismo.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 ANTECEDENTES

En el marco de la producción de energía se ha tenido a nivel mundial un **modelo de desarrollo insostenible** basado en los principios de **explotación de los recursos para extraer el máximo beneficio** en el menor tiempo posible, sin considerar el impacto que esto genera en los ecosistemas y las poblaciones.

Los impactos ambientales que produce este modelo, así como lo costoso del mismo, hacen **necesaria la transición hacia un modelo energético basado en el ahorro, la eficiencia, las energías renovables y la justicia social**. Por ello, **en 1997 se acordó el Protocolo de Kioto**, un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero, que ha ido realizando un seguimiento con sucesivas reuniones en diferentes países.

Tras estas reuniones algunos países han mejorado la situación y otros no tanto, como es el caso de España, que es de los países de la unión europea (UE) que más se aleja de los objetivos del acuerdo pactado. Aunque se han desarrollado ciertas instalaciones de energías renovables, no han sido suficiente en comparación con el resto de centrales de energías contaminantes. A pesar de ser un país con escasos recursos energéticos y con abundantes recursos renovables como lo son la energía eólica y la solar.

En el contexto de la **producción de ACS en edificios**, se realizaba generalmente mediante calderas eléctricas, gas natural, gasóleo, gases licuados de petróleo o algún tipo de combustible fósil. Pero desde hace unos años, y cada vez más, el agua caliente sanitaria se obtiene mediante la energía solar térmica, energía geotérmica o calores residuales, debido a su menor impacto ambiental y al previsible agotamiento a medio plazo de las reservas de combustibles fósiles y a las nuevas normativas nacionales que obligan a que una parte del consumo de ACS de las **nuevas edificaciones se obtenga a partir de energía renovables**.

Por ello, para luchar contra el cambio climático y hacer una pequeña aportación, se va abastecer el consumo de ACS en el edificio objeto del proyecto, mediante una **instalación de energía solar térmica**, utilizando como materia prima el Sol. Siendo dicha demanda energética la de mayor magnitud dentro de los consumos que tiene una vivienda, lo que convierte el aprovechamiento de la energía solar en una gran fuente de ahorro, tanto en forma de emisiones como económicamente.

2.2 MOTIVACIÓN

Expuesto anteriormente el problema climático de la emisión de los gases de efecto invernadero, es un tema que preocupa y sobre el que se debe trabajar, e incrementar su estudio cada vez más, para luchar contra el cambio climático.

Para participar en ello, se actúa sobre uno de los consumos domésticos más importante, el consumo de ACS, siendo una medida de ahorro la sustitución en edificios de los sistemas convencionales para el calentamiento de agua, por sistemas que respeten el medio ambiente, como lo es una instalación de energía solar térmica.

La concienciación acerca de este problema mundial se ha ido adquiriendo mediante la difusión social, pero a raíz de la realización del Grado de Ingeniería de la Energía se ha ido incrementando la atracción por las energías renovables, en concreto en la asignatura de Energía renovables térmicas se estudió este tipo de instalaciones que causaron gran interés por ello. Por ese motivo se ha decidido tomar esta iniciativa para el Trabajo Final de Grado.

2.3 JUSTIFICACIÓN

En este Trabajo Fin de Grado se reflejan los contenidos adquiridos a lo largo de todos los años de Grado, en especial asignaturas como Energías Renovables Térmicas, Proyectos, Maquinas Hidráulicas y Transporte de Fluidos, Transmisión de Calor, etc. Se desarrolla el interés de un ingeniero por buscar la forma más eficiente de solucionar un problema combinando diferentes ramas de la ingeniería.

En esta situación en que la problemática medioambiental va incrementando, es esencial realizar medidas de sostenibilidad energética. Como dato importante, el sol vierte sobre la tierra cuatro mil veces más energía de la que consumimos, por tal razón y con el fin de satisfacer todas nuestras necesidades debemos aprovechar de forma racional la energía solar, en lugar de utilizar otras fuentes no renovables, contaminantes y agotables en un futuro próximo.

2.4 NORMATIVA

Dado el carácter de la vivienda y su uso residencial es de aplicación la siguiente normativa que regulará la incorporación de los sistemas de captación y utilización de energía solar térmica de baja temperatura para el calentamiento de agua caliente sanitaria:

- **Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE):** aprobado por el Real Decreto 1027/2007, del 20 de Julio de 2007, establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía. Con el fin de incrementar la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios ha promovido la redacción de una serie de Guías Técnicas de Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización, resultando interesante para este proyecto la 'Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central'.
- **Código Técnico de la Edificación (CTE):** aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, establecidos a su vez en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). Contiene un Documento Básico de Ahorro de Energía donde se establecen las exigencias básicas en eficiencia energética y energías renovables que deben cumplirse en los edificios de nueva construcción y en las intervenciones en edificios existentes. Este Documento Básico consta de varias secciones, siendo de utilidad para este proyecto el HE.4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.

Además, se ha utilizado la herramienta **CHEQ4**, un programa informático con el fin de facilitar a todos los agentes participantes en el sector de la energía solar térmica de baja temperatura la aplicación, cumplimiento y evaluación de la sección HE4 incluida en la exigencia básica HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE).

CHEQ4 permite definir una amplia variedad de instalaciones solares introduciendo un mínimo de parámetros del proyecto, asociados a cada configuración del sistema, y de esta manera, obtener la cobertura solar que ese sistema proporciona sobre la demanda de energía para ACS y piscina del edificio. En función de los datos introducidos el programa validará el cumplimiento de la contribución solar mínima definida por la exigencia HE4 permitiendo a su vez generar un informe justificativo de los resultados obtenidos de forma rápida y sencilla.

2.5 APROVECHAMIENTOS SOLAR EN EDIFICIOS

El funcionamiento de una instalación solar térmica consiste en aprovechar la energía del Sol mediante un conjunto de captadores, transformarla directamente en energía térmica cediéndola a un fluido de trabajo y, por último, almacenar dicha energía en un sistema de acumulación, que abastece el consumo cuando sea necesario.

Existen distintas formas de aprovechamiento de la energía solar térmica, en el caso del aprovechamiento en edificios se trata de una instalación de baja temperatura, es decir que trabaja con temperaturas menores de 100°C. A su vez, este tipo de instalaciones se puede clasificar en función de diversos criterios, siendo los principales:

- Según la forma de circulación del fluido:
 - Instalación con termosifón (circulación natural), para instalaciones pequeñas.
 - Instalación con bomba (circulación forzada).
- Según el tipo de sistema de transferencia de calor:
 - Transferencia térmica directa (prohibido por el (CTE, 2006))
 - Transferencia térmica indirecta

Dado que se trata de una instalación de gran envergadura será por circulación forzada mediante bombas y por transferencia indirecta que es lo que marca el CTE.

Este modo de instalación también puede tener distintas tipologías, pero todas tienen ciertos elementos en común. Por ello en este apartado se va a describir el esquema de una instalación básica de energía solar térmica como la que se muestra a continuación.

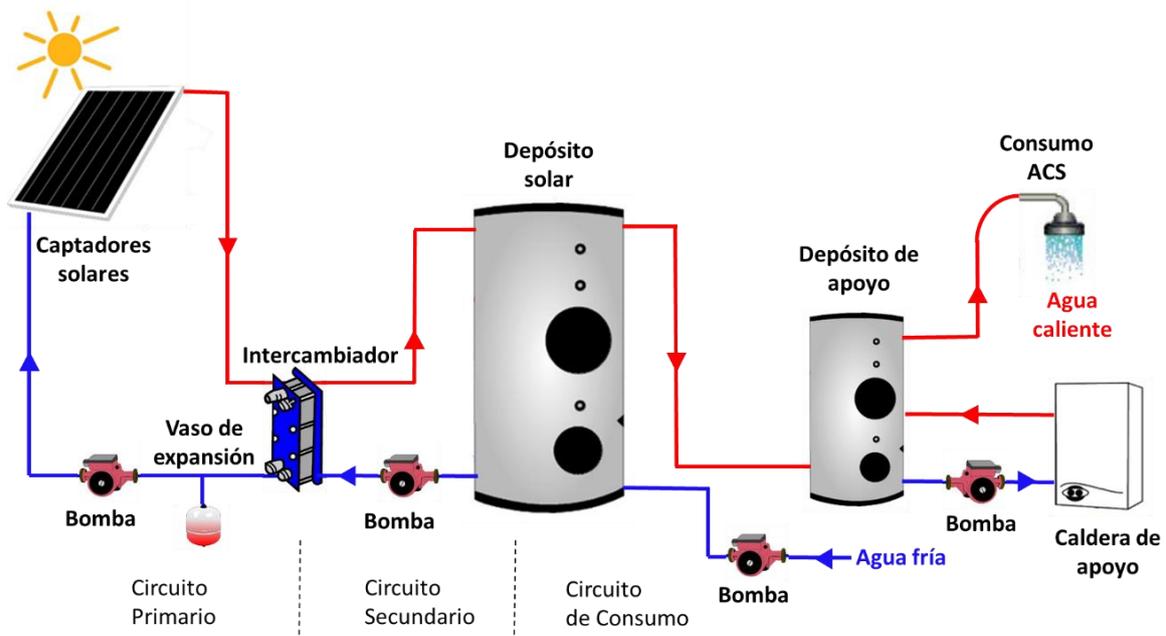


Figura 1. Esquema tipo de una instalación con aprovechamiento solar

Se pueden diferenciar tres tipos de circuitos en la instalación:

- **Circuito primario:** Es un circuito cerrado, que transporta el fluido calo-portador desde el captador hasta el intercambiador y la devuelve de nuevo al captador. El fluido circulante debe ser agua con anticongelante debido a que el circuito está en el exterior y puede sufrir congelación.
- **Circuito secundario:** Transporta el agua caliente desde el intercambiador hasta el acumulador, volviendo el agua más fría de la parte inferior del acumulador hacia el intercambiador. El fluido es agua potable si posteriormente no existe intercambiador, ya que el agua del acumulador es la misma que va al circuito de consumo.
- **Circuito consumo o distribución:** Transporta el agua caliente desde el acumulador hasta los puntos de consumo de agua caliente sanitaria.

Los principales elementos integrantes de la instalación son los siguientes:

- **Captadores solares:** El principio de funcionamiento de un captador solar es el efecto invernadero. Gracias a los componentes que lo forman y su disposición son capaces de capturar la radiación solar y convertirla en energía térmica, aumentando la temperatura del fluido que circula por la instalación.
- **Intercambiador:** Se sitúa en el extremo del circuito primario, tiene forma de serpentín, ya que así se consigue aumentar la superficie de contacto y por lo tanto, la eficiencia. Tiene la misión de realizar la transferencia de energía entre el fluido del circuito primario y del secundario. Mediante el uso del intercambiador se consigue que el calor se transfiera sin mezcla de fluidos.
- **Bombas:** Las bombas de circulación son aparatos accionados por un motor eléctrico capaces de suministrar al fluido calo-portante una cantidad de energía necesaria para hacerle circular por un circuito a una determinada presión.
- **Vaso de expansión:** Se trata un recipiente con una cámara de gas separada de la de líquidos y con una presión inicial. Absorbe variaciones de volumen del fluido calo-portador cuando éste sufre una cierta dilatación, debido a altas temperaturas, manteniendo la presión adecuada y evitando pérdidas de la masa del fluido.
- **Depósito solar:** Se trata de un acumulador de inercia en el cual se acumula el agua caliente procedente del intercambiador, hasta que se requiere para el consumo. Para optimizar el comportamiento debe tener una buena estratificación de temperaturas, para ello hay que situar adecuadamente los elementos de conexión, siendo la entrada de agua fría por la parte inferior y la salida de agua caliente por la parte superior.
- **Sistema auxiliar:** se encarga de suministrar energía adicional cuando el sistema solar por sí solo no es capaz de producir la suficiente energía para elevar la temperatura del circuito de consumo a la temperatura de preparación. Consta de dos elementos principalmente que son:
 - Interacumulador de apoyo: Puede ser acumulador con intercambiador incluido o por separado. Se encarga de recoger el aporte auxiliar de energía térmica del fluido y de acumularlo hasta que se requiera su consumo.
 - Caldera de apoyo: la cual se encargará de suministrar la energía necesaria que le falta al agua para llegar a la temperatura de suministro.

- **Circuito hidráulico:** Formado por el conjunto de tuberías, válvulas y accesorios que se encargan de distribuir el agua caliente sanitaria hasta los diferentes puntos de consumo. Las tuberías de la instalación se encuentran recubiertas de un aislante térmico para evitar pérdidas de calor con el entorno.

2.6 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO DE ESTUDIO

2.6.1 Emplazamiento

El edificio de estudio del presente proyecto está situado en la ciudad de Córdoba (Andalucía), al sur de España, como se muestra en la *Figura 2*.



Figura 2. Situación geográfica del municipio

Se encuentra en la calle Alcalde Sanz Noguera número 7, 14005 Córdoba (*Figura 3*), y las coordenadas geográficas son las siguientes:

- Latitud: $37^{\circ} 53' 2.73'' = 37.884^{\circ}$
- Longitud: $4^{\circ} 47' 25.02'' W = -4.790283^{\circ}$
- Altura: 126 metros

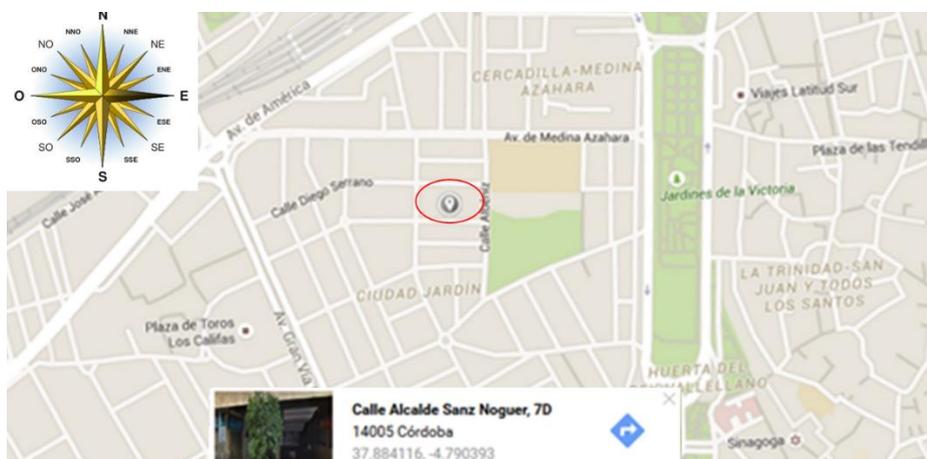


Figura 3. Ubicación del edificio objeto de estudio.

2.6.2 Características del edificio

Se trata de un edificio de viviendas de obra nueva, de 22 metros de altura, compuesto por 30 viviendas y además cuenta con 30 trasteros en la cubierta, un sótano para aparcamiento de 46 plazas y una planta baja de locales comerciales.

De las diferentes partes del edificio son objeto de este proyecto las 30 viviendas que es donde se utiliza agua caliente sanitaria (para el estudio no se considera el ACS instalada en los locales comerciales). El bloque de viviendas se divide en 5 plantas, con 6 viviendas en cada una de las plantas.

Existen 3 tipologías de viviendas con las siguientes características cada una:

- **TIPO A:** comedor, cocina con lavadero, un aseo, un baño, y dos dormitorios.
- **TIPO B:** comedor, cocina con lavadero, un aseo, un baño y tres dormitorios.
- **TIPO C:** comedor, cocina con lavadero, un aseo, dos baños y cuatro dormitorios.

A continuación, se muestra en la *Figura 4* la planta de una vivienda tipo en la que se puede apreciar la distribución de las 6 viviendas, en función de las tres tipologías descritas anteriormente. Como se puede observar, la distribución es simétrica desde el eje central del edificio, por lo que el diseño de las viviendas de un ala del edificio inmediatamente dejaría resuelto el diseño de las viviendas equivalentes.

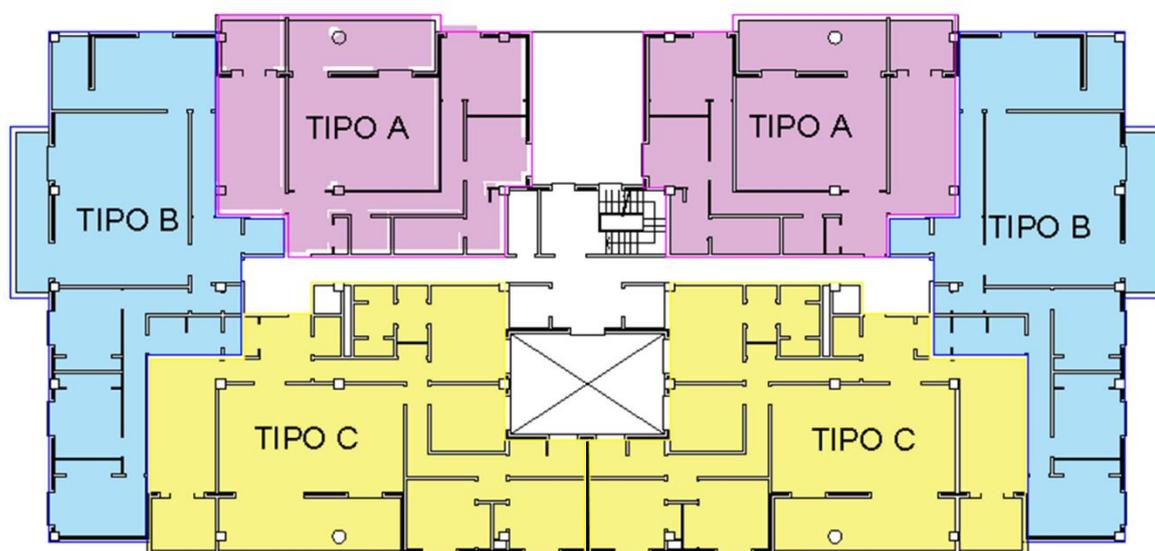


Figura 4. Distribución de una planta de viviendas tipo

3 DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO SOLAR

3.1 DISEÑO DE LOS COLECTORES SOLARES

3.1.1 Cálculo demanda de agua

Para valorar la demanda de agua caliente sanitaria se tomarán los valores unitarios que aparecen en la siguiente tabla del (DB HE-4, 2013). Los datos mostrados se refieren a la demanda de agua consumida por una persona tomando como temperatura de referencia 60 °C y diferenciado por el tipo de demanda.

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Figura 5. Demanda de ACS de referencia a 60°C

Para el cálculo de personas por vivienda se hace según la Figura 6 del (DB HE-4, 2013), que relaciona número de dormitorios con el número de personas:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 6. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Teniendo en cuenta estos valores mínimos se calcula una estimación de personas como sigue:

- Vivienda tipo A (2 dormitorios): 3 personas
- Vivienda tipo B (3 dormitorios): 4 personas
- Vivienda tipo C (4 dormitorios): 5 personas

$$\text{TOTAL POR PLANTA} = 2 \times 3 + 2 \times 4 + 2 \times 5 = 24 \text{ PERSONAS/PLANTA} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{TOTAL EDIFICIO} = 5 \text{ PLANTAS} \times 24 \text{ PERSONAS/PLANTA} = 120 \text{ PERSONAS} \quad (\text{Ec. 2})$$

Por tanto, para un consumo de 28 l/día por persona y 120 personas, se tiene una demanda de ACS:

$$DACS = 120 \text{ PERSONAS} \times 28 \text{ L/DÍA} \cdot UD = 3.360 \text{ L/DÍA} \quad (\text{Ec. 3})$$

Finalmente, se estiman los porcentajes de ocupación, considerando 80 % en julio, 90 % en agosto y 100 % durante el resto del año, debido a ser un edificio residencial y en estos dos meses parte de sus habitantes se ausentan por periodo vacacional. A continuación se presenta una tabla resumen con las demandas diarias, mensuales y, finalmente, la anual de agua caliente sanitaria consumida, y una gráfica con la evolución mensual a lo largo del año del consumo de agua caliente sanitaria.

Tabla 1. Cálculo de la demanda de agua

Tacs 60°C				
MESES	DIAS	OCUPACIÓN	DEMANDA DIARIA	DEMANDA MENSUAL
		%	litros/día	litros/mes
Enero	31	100%	3.360	104.160
Febrero	28	100%	3.360	94.080
Marzo	31	100%	3.360	104.160
Abril	30	100%	3.360	100.800
Mayo	31	100%	3.360	104.160
Junio	30	100%	3.360	100.800
Julio	31	80%	2.688	83.328
Agosto	31	90%	3.024	93.744
Septiembre	30	100%	3.360	100.800
Octubre	31	100%	3.360	104.160
Noviembre	30	100%	3.360	100.800
Diciembre	31	100%	3.360	104.160
Demanda Anual (l/año)				1.195.152

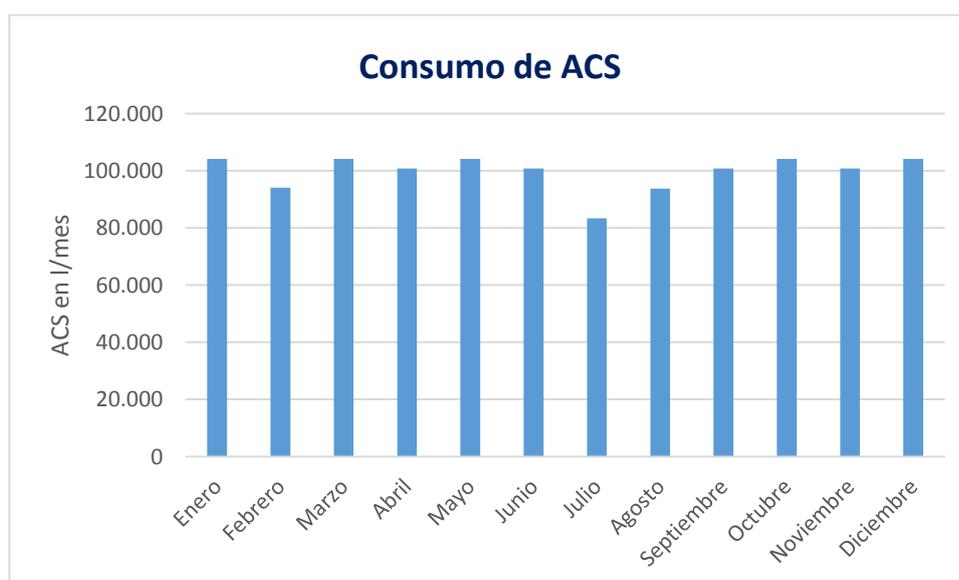


Figura 6. Consumo de Agua Caliente Sanitaria mensual

3.1.2 Cálculo de la demanda energética

El cálculo de la demanda energética, se realiza a partir del consumo de agua mediante la siguiente expresión (1):

$$DE = m * Ce * \Delta T = V * \rho * Ce * \Delta T \quad (\text{Ec. 4})$$

donde:

DE es la demanda energética (kJ/mes)

V es el volumen de agua consumida (litros/mes)

ρ es la densidad del agua (kg/l)

Ce es el calor específico (kJ/kg·K)

ΔT es la diferencia $T^{\text{acs}} - T^{\text{red}}$ (°C)

Se detalla a continuación los datos necesarios y su procedencia:

- Volumen del agua consumida (l/mes), calculada según la *Tabla 1*.
- Densidad del agua, valor normalizado: $\rho = 1$ kg/l
- Calor específico, valor normalizado: $Ce = 4,18$ kJ/kg·K
- Temperatura de agua caliente sanitaria, se estima un valor de $T^{\text{acs}} = 60^{\circ}\text{C}$
- Temperatura media mensual del agua de red, del DB HE-4 (*Tabla 2*).

Tabla 2. Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10

Finalmente, se calcula la demanda energética, aplicando la expresión (1) expuesta anteriormente.

Tabla 3. Cálculo de la demanda energética mensual (MJ)

MESES	Tª Agua red	DEMANDA MENSUAL	DEMANDA ENERGÉTICA
	°C	litros/mes	MJ/mes
Enero	10	104.160	21.769,44
Febrero	11	94.080	19.269,47
Marzo	12	104.160	20.898,66
Abril	14	100.800	19.381,82
Mayo	16	104.160	19.157,11
Junio	19	100.800	17.275,10
Julio	21	83.328	13.584,13
Agosto	21	93.744	15.282,15
Septiembre	19	100.800	17.275,10
Octubre	16	104.160	19.157,11
Noviembre	12	100.800	20.224,51
Diciembre	10	104.160	21.769,44
DEMANDA ENERGÉTICA Anual (MJ/año)			225.044,04

Se obtiene como resultado una demanda energética anual de **225.044,04 MJ/año** o lo que es lo mismo **62.512,23 kWh/año**. La *Figura 7* muestra la demanda energética necesaria para abastecer de agua caliente sanitaria el edificio de viviendas, dividido mensualmente.

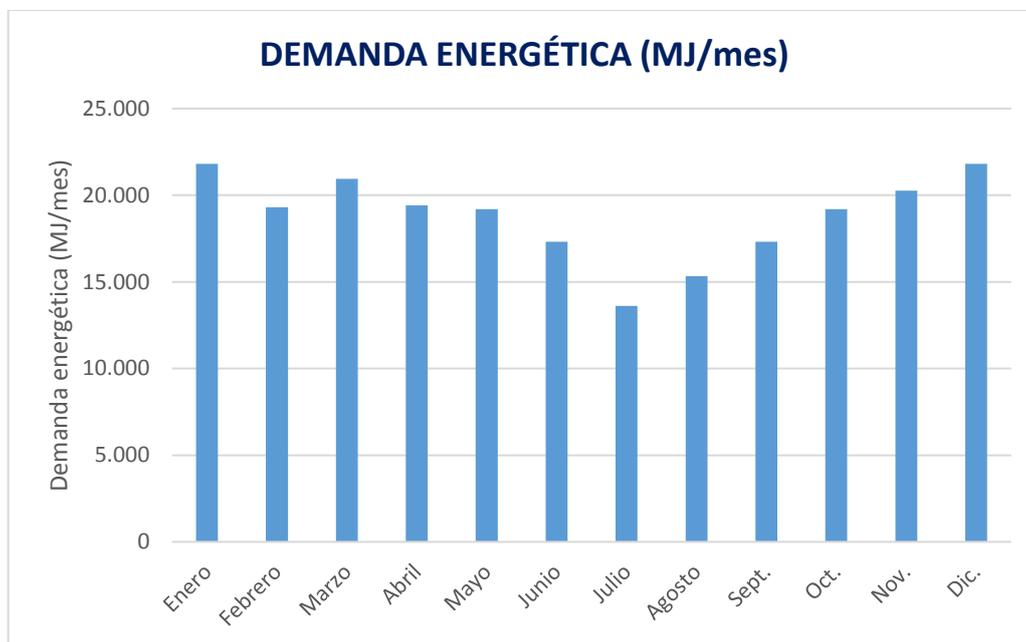


Figura 7. Demanda energética mensual (MJ/mes)

Como se puede observar, se aprecia con mayor acentuación la disminución de demanda energética en los meses de julio y agosto, siendo ésta la época en la que se reduce el número de personas en el edificio.

También se aprecia el factor de la temperatura del agua de red, que siendo menor en los meses de invierno, se requiere mayor energía para alcanzar la temperatura de 60° del agua caliente sanitaria, al contrario que ocurre en los meses más cálidos, en los que el gradiente de temperatura que hay que alcanzar es menor, y por tanto la demanda energética disminuye.

3.1.3 Cálculo de la aportación de energía solar

Contribución solar

Uno de los pasos más importantes en el diseño de la instalación, consiste en determinar la contribución solar mínima que debe aportar la instalación de energía solar térmica. Para ello se necesita conocer la zona climática a la que pertenece la localidad objeto de estudio y la demanda total de agua caliente sanitaria.

Como se puede observar en la *Figura 8*, Córdoba se encuentra limitada en la zona climática IV, pero está al borde de la zona V, por lo que puede haber discrepancia para decidir la zona climática dependiendo de la fuente de datos.

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica para el suministro de ACS en un edificio de viviendas



Figura 8. Mapa de zonas climáticas de España

Puesto que se va a utilizar el (CHEQ4, 2013) para realizar comprobaciones y obtener el certificado, se deben hacer los cálculos partiendo de los mismos datos que dicho programa, para obtener los resultados de cálculo coherentes con lo que muestre la simulación. Es decir, se escoge la zona climática que utiliza el CHEQ4, que al introducir los datos de Provincia y Municipio de Córdoba marca la zona climática V, además dicha zona es más restrictiva que la zona IV, por lo que a la instalación se le va a exigir trabajar con una mayor contribución solar.

Finalmente, sabiendo que la zona climática es la **zona V** y que la demanda total de ACS diaria calculada a 60°C es **3.360 l/día**, se obtiene la contribución solar mínima que establece el CTE.

En la *Figura 9*, obtenida del DB HE-4 se establece la contribución solar mínima anual exigida, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de ACS a una temperatura de referencia de 60°C, que es la temperatura objeto de este proyecto.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Figura 9. Contribución solar mínima anual para ACS en %

Se concluye, con la demanda diaria correspondiente al primer rango y la zona climática V, que la **contribución solar mínima** anual se establece en un **60 %** de la demanda energética total.

Por tanto, la demanda energética solar del edificio considerando la contribución mínima es de:

$$DE' = 225.044,04 * 0.6 = 135.026,42 \text{ MJ/año o lo que es lo mismo } 37.507,34 \text{ kWh/año}$$

Radiación Solar Global Media

En la siguiente tabla del DB HE-4 se marcan las diferentes zonas climáticas, delimitándolas en función de la Energía recibida por unidad de superficie horizontal, esto es la Radiación Solar Global media diaria anual.

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Figura 10. Radiación solar global media diaria anual

Como se ha comentado anteriormente el edificio se encuentra en la Zona climática V, por lo que la radiación global media anual en una superficie horizontal es mayor a 18 MJ/m² o lo que es lo mismo, mayor que 5,0 kWh/m².

Se han obtenido los datos mensuales de radiación solar mediante dos fuentes: en AEMET (Sancho Ávila, y otros, 2012) y en la base de datos del CHEQ4, mostrándose los resultados en la *Tabla 4*.

- Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT, datos de la provincia de Córdoba.
- Datos obtenidos de la base de datos del CHEQ4, que a su vez son proporcionados por el (IDAE).

Como se puede observar en la siguiente tabla (*Tabla 4*), los datos son prácticamente idénticos, pero se van a considerar los obtenidos del CHEQ4, para que así los cálculos y comprobaciones que se realicen con el programa sean más fieles a lo obtenido finalmente con el programa. Además, los valores propuestos por el CHEQ4 son ligeramente inferiores, y por tanto se estará del lado de la seguridad.

Tabla 4. Resumen radiación solar de dos fuentes de datos

RADIACIÓN (MJ/m ²)		
MESES	CHEQ4	AEMET CORDOBA (PROVINCIA)
Enero	9,40	9,43
Febrero	12,70	12,71
Marzo	17,70	17,68
Abril	21,30	21,31
Mayo	24,30	24,34
Junio	28,30	28,26
Julio	29,20	29,23
Agosto	25,90	25,88
Septiembre	20,50	20,52
Octubre	14,00	13,97
Noviembre	10,00	10,04
Diciembre	8,00	8,03
PROMEDIO diario anual	18,44	18,45
ANUAL	6.731,21	6.734,25

3.1.4 Cálculo de la superficie de captación

Se va a estimar el cálculo del área de captadores mediante tres métodos, de esta forma se puede comprobar que los cálculos son coherentes si todos ellos están en un rango cercano, y visto los resultados se decidirá un área de captación.

Los diferentes métodos son:

- a) Considerando que se debe cumplir la condición impuesta por el CTE, en el (DB HE-4, 2013):

$$50 < V/A < 180 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

A es la suma de las áreas de los captadores [m^2]

V es el volumen de la acumulación solar [litros]

Para este último, se tiene en cuenta que el volumen de acumulación necesario corresponde con la demanda calculada en el apartado 3.1.1 es de 3.360 litros. Aunque puede ser que éste no sea el volumen final de acumulación, el cual será calculado más tarde teniendo en cuenta el tipo de instalación y por tanto la cantidad de acumuladores, junto con su marca y diseño. Pero es un dato correcto para realizar la estimación de la superficie de captación, que debe estar entre este rango:

$$\text{ÁREA MÍNIMA} \rightarrow A > \frac{V}{180} = \frac{3360}{180} = 18.66 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\text{ÁREA MÁXIMA} \rightarrow A < \frac{V}{50} = \frac{3360}{50} = 67.20 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 7})$$

b) Considerando que por cada metro cuadrado de captador, se calientan aproximadamente 75 litros de agua, tal y como algunos autores recomiendan (Ribera, 2008) 'Manual de energía solar térmica. Diseño y cálculo de instalaciones'. En este caso, el área sería la siguiente:

$$\text{ÁREA CAPTACIÓN} = \frac{3360}{75} = 44,8 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 8})$$

c) Haciendo un balance energético entre la energía consumida de ACS (considerando la contribución solar) y la energía obtenida con captadores solares. Entonces a partir del dato de demanda de energía térmica, la irradiación solar media sobre el plano del captador, el rendimiento medio del sistema y la fracción solar mínima, se puede estimar el área total de captadores.

$$\text{ENERGÍA REQUERIDA ACS} \cdot \text{CONTRIB. SOLAR} = \text{ENERGÍA CAPTADA POR LOS CAPTADORES} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$DE * F = H_{\beta} * \eta * S \quad (\text{Ec. 10})$$

$$S = \frac{D * F}{H_{\beta} * \eta} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

S es la superficie de captación [m^2]

DE es la demanda diaria media anual de energía térmica [$MJ/día$]. Como se ha calculado en el apartado 3.1.2, el valor de la demanda media anual es **225.044,04 MJ/año**.

F es la fracción solar requerida. Como se ha visto en el 'apartado 2.1.3.' es igual a **60 %**

H_{β} es la irradiación anual sobre el plano del captador [MJ/m^2]. Según los datos obtenidos del CHEQ4, en el 'apartado 2.1.3.' se ha calculado la irradiación anual siendo **6731,21 MJ/m²**

η es el rendimiento medio de la instalación. El valor más común para instalaciones solares con captadores planos es del **40 %**.

Finalmente se procede al cálculo teniendo el siguiente resultado:

$$S = \frac{225.044,04 * 0.60}{6731,21 * 0.40} = 50.14 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 12})$$

Tras realizar las tres estimaciones de la superficie de captación se va a tomar como primera estimación una superficie total de 50 m^2 , siendo el valor más restrictivo de los dos últimos y situándose dentro del rango establecido. Pero este valor puede variar cuando se elija el modelo y el número de captadores, ya que se debe tener en cuenta que la superficie de cada captador varía según el modelo. Por tanto se va a proceder a continuación a la selección del captador solar.

3.1.5 Estudio comparativo de modelos de captadores solares

Para elegir un captador solar para esta instalación, se va a comparar entre varios de los que se incluyen en la base de datos del (CHEQ4, 2013), y se va a realizar un estudio técnico-económico. Para ello se van a analizar sus curvas de rendimiento y el precio de cada uno de ellos.

El rendimiento de un captador solar viene definido por la siguiente fórmula:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{(T_m - T_a)}{G_\beta} - k_2 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{G_\beta} \quad (\text{Ec. 13})$$

donde:

η_0 es el rendimiento óptico o máximo del captador

k_1 es el coeficiente lineal [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^2$]

k_2 es el coeficiente cuadrático [W/m^2]

G_β es la irradiación solar instantánea, debe tomarse un valor de $800 \text{ W}/\text{m}^2$ según la norma

T_m es la temperatura media entre la entrada y la salida de agua [$^\circ\text{C}$]

T_a es la Temperatura ambiente [$^\circ\text{C}$]

Los datos comunes para los captadores, independientemente del captador que se elija, son los siguientes:

$$G_\beta = 800 \text{ W}/\text{m}^2$$

$$T^a \text{ salida} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabla 5. Temperaturas ambiente, entrada del agua en captador y media en el absorbedor

MESES		Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio
T^a ambiente	°C	9,30	10,70	12,90	15,00	19,00	22,90
T^a entrada	°C	9,90	10,90	11,90	13,90	15,90	18,90
T^a media (absorbedor)	°C	34,65	35,35	36,45	37,50	39,50	41,45

MESES		Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
T^a ambiente	°C	26,70	26,50	23,50	18,20	12,70	9,50
T^a entrada	°C	20,90	20,90	18,90	15,90	11,90	9,90
T^a media (absorbedor)	°C	43,35	43,25	41,75	39,10	36,35	34,75

A continuación se detallan las características de cada uno de los modelos a estudiar:

a) Empresa SALVADOR ESCODA, Modelo ESCOSOL 3.0. TINOX PLUS

- Área apertura = 2,67 m²
 - $\eta_0 = 0,823$
 - $k_1 = 3,86 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - $k_2 = 0 \text{ W/ m}^2 \text{K}^2$
- PRECIO 630€

b) Empresa VIESSMAN, Modelo VITOSOL 100-FS1A

- Área apertura = 2,33 m²
 - $\eta_0 = 0,758$
 - $k_1 = 4,13 \text{ W/ m}^2\text{K}$
 - $k_2 = 0,0108 \text{ W/ m}^2 \text{K}^2$
- PRECIO 666€

c) Captador VAILLANT, Modelo VFK 125

- Área apertura = 2.65 m²
 - $\eta_0 = 0.753$
 - $k_1 = 3.936 \text{ W/ m}^2\text{K}$
 - $k_2 = 0.017 \text{ W/ m}^2 \text{K}^2$
- PRECIO 605€

Para tener mayor información que ayude a la elección del captador solar, se va a buscar el rango de temperaturas en el que se trabajará para esta instalación durante el año y así tenerlo en cuenta en el estudio del rendimiento.

Para ello se ha calculado el valor de la variable $(T_m - T_a)/G_\beta$ para cada uno de los meses del año con los datos de la localidad en la que se encuentra el edificio, Córdoba, en función de la temperatura ambiente y de red de agua. Se muestra el resultado a continuación en la *Tabla 6*. Se observa que la instalación va a trabajar en rangos desde 0.017 hasta 0.032 [°C m²/W].

Tabla 6. Variación de la temperatura en el rango de trabajo

MESES		Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Junio
T^a ambiente	°C	9,30	10,70	12,90	15,00	19,00	22,90
T^a entrada agua (°C)	°C	9,90	10,90	11,90	13,90	15,90	18,90
T^a media (absor.)	°C	34,95	35,45	35,95	36,95	37,95	39,45
ΔT (T_m-T_{amb})	°C	25,65	24,75	23,05	21,95	18,95	16,55
(T_m-T_a)/G_β		0,032	0,031	0,029	0,027	0,024	0,021

MESES		Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
T^a ambiente	°C	26,70	26,50	23,50	18,20	12,70	9,50
T^a entrada agua (°C)	°C	20,90	20,90	18,90	15,90	11,90	9,90
T^a media (absor.)	°C	40,45	40,45	39,45	37,95	35,95	34,95
ΔT (T_m-T_{amb})	°C	13,75	13,95	15,95	19,75	23,25	25,45
(T_m-T_a)/G_β		0,017	0,017	0,020	0,025	0,029	0,032

Si ahora se comparan las curvas de rendimiento de los tres captadores en una misma gráfica y nos fijamos en el área de trabajo podemos decidir qué captador es mejor para este sistema con más rigor, sabiendo que la zona de la curva que nos interesa es la que se encuentra dentro de dicho rango.

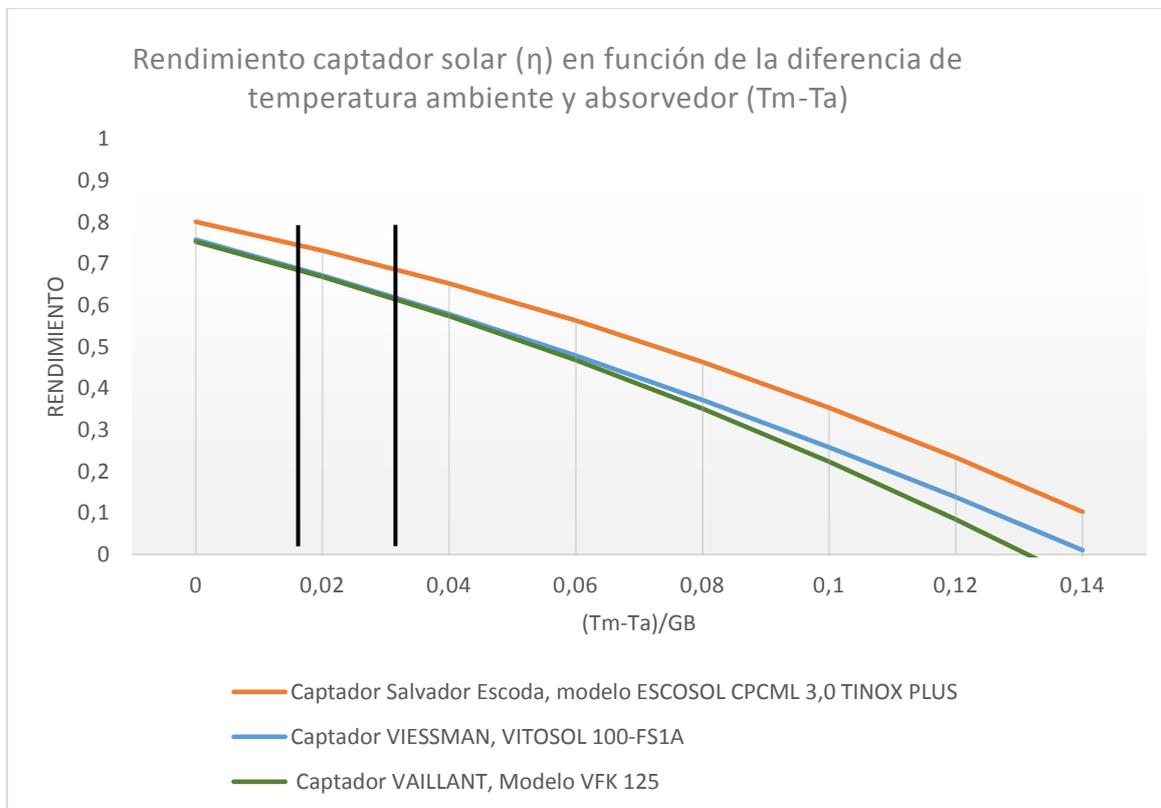


Figura 11. Curva de rendimiento de los tres captadores solares

Como se observa, el captador que tiene un rendimiento mayor en el rango de trabajo es el modelo ESCOSOL CPCML 3,0 del catálogo de SALVADOR ESCODA (Escoda, 2016), el siguiente sería el captador el modelo VITOSOL 100 de VIESSMAN, y finalmente y con poca diferencia al anterior, le sigue el modelo VFK de VAILLANT. Siendo éste último el más caro, de entre los dos menos favorables.

En primer lugar, se va a descartar el modelo de VIESSMAN, porque teniendo menor rendimiento que el modelo ESCOSOL de Salvador Escoda, es más caro.

Entonces se van a analizar los captadores de Salvador Escoda, siendo el de mayor rendimiento con un precio más alto (630 €) y el modelo de VAILLANT, con menor rendimiento y un precio más bajo (605 €). De forma que se pueda comparar la diferencia porcentual de rendimiento y de precio.

En la tabla 7 se muestra la diferencia porcentual de rendimiento para los valores de la variable, ($T_m - T_a$)/ G_B , que se encuentren dentro del rango de trabajo (0.017-0.032).

Se adjunta ficha técnica en el ANEXO I.

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

Tabla 7. Diferencia porcentual de rendimiento de los captadores solares

$(T_m - T_a)/G_\beta$	0,017	0,018	0,019	0,02	0,021	0,022	0,023	0,024
$\Delta\eta$ (modelos)	0,0608	0,0616	0,0624	0,0631	0,0639	0,0647	0,0655	0,0662
$\Delta\eta$ (%) (modelos)	8,19%	8,33%	8,48%	8,63%	8,78%	8,93%	9,08%	9,24%
$(T_m - T_a)/G_\beta$	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,03	0,031	0,032
$\Delta\eta$ (modelos)	0,0670	0,0678	0,0686	0,0694	0,0702	0,0710	0,0717	0,0725
$\Delta\eta$ (%) (modelos)	9,40%	9,56%	9,72%	9,89%	10,06%	10,23%	10,40%	10,58%

Tras obtener una larga serie de valores entre el rango de trabajo, se calcula el valor promedio de esa diferencia porcentual de rendimiento, y también el valor porcentual de la diferencia del precio por captador de cada uno de los dos modelos, calculado respecto al de mayor rendimiento y precio, SALVADOR ESCODA.

Tabla 8. Comparación rendimiento y coste de ambos captadores solares

Promedio $\Delta\eta$ (%)	9,34 %
Δ coste (%)	3,97 %

$$\Delta\eta (\%) > \Delta\text{coste} (\%)$$

Además, si se calcula esta diferencia de coste en función del precio por metro cuadrado de captador se da una diferencia en el coste debido a ser diferentes las dimensiones de cada modelo, por ello lo que se obtiene es lo siguiente:

Tabla 9. Comparación rendimiento y coste/m² de ambos captadores solares

Promedio $\Delta\eta$ (%)	9,34 %
Δ coste/m ² (%)	3,24 %

Lo que ocurre es que el precio por metro cuadrado del captador de SALVADOR ESCODA es más caro que el de VAILLANT, pero la diferencia es algo menor que la que se había obtenido anteriormente.

Por tanto, entre los dos modelos hay una diferencia de rendimiento mayor que la de coste. Lo que quiere decir que resulta más conveniente tener un 3,24 % más de coste con el modelo de SALVADOR ESCODA a costa de tener una diferencia porcentual de rendimiento de 9,39 %.

Análogamente, el rendimiento medio en el rango de trabajo para cada uno de ellos es:

Tabla 10. Comparación rendimiento de ambos captadores solares

MODELO	η medio
SALVADOR ESCODA	71,43 %
VAILLANT	64,76 %

Y la diferencia del rendimiento medio es 6.67 %

Estas demostraciones llevan a deducir que la mejor opción técnico-económica es utilizar el captador SALVADOR ESCODA, Modelo ESCOSOL 3.0. TINOX PLUS con unos valores de rendimiento en el rango de trabajo entre 74,30 % y 68,57 %, y un coste por captador de 630 €.

3.1.6 Estudio del tipo de configuración y número de captadores

Una vez elegido el modelo de captador, es posible definir el número de captadores teniendo en cuenta la superficie que tiene cada captador, y la superficie total necesaria estimada anteriormente en el apartado 3.1.4. CÁLCULO SUPERFICIE DE CAPTACIÓN.

Es importante tener la precaución de no realizar un sobredimensionado, no pudiendo superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100 % de esta demanda. Para ello también se debe tener en cuenta el tipo de configuración que se instale, ya que al variar las pérdidas varía el rendimiento y por tanto la fracción solar.

Para este modelo de captador considerado, la superficie útil es de 2.67 m², y la estimación que se había hecho es de 50 m² de superficie total de captación. Por tanto como primera aproximación:

$$\frac{50}{2.67} = 18.72 \approx 19 \quad (\text{Ec. 14})$$

El número mínimo para cumplir con las exigencias demandadas sería poner 19 captadores, aunque por motivos de diseño, es interesante tener un número de captadores tal que se puedan distribuir uniformemente en filas con el mismo número de filas. Al ser 19 un número primo, dificulta la distribución simétrica y se propone utilizar 20 captadores.

Sin embargo, se va a realizar otra estimación para corroborar que ésta sea la mejor solución, mediante el CHEQ4. Se trata de realizar un barrido de datos de fracción solar desde la superficie mínima a la superficie máxima que se obtiene de la condición que se impone en DB HE-4:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad (\text{Ec. 15})$$

En este caso el rango del área está entre 18.66 m² y 67.20 m², en cuanto a número de captadores sería entre 7 y 26 captadores. Pero además se van a comprobar los valores de mayor superficie, para ver el efecto que tendría en el sistema.

El análisis de la fracción solar respecto al número de captadores va a variar en función del tipo de configuración, por lo tanto se va a realizar el procedimiento para las dos tipos de instalaciones que se van a estudiar.

Comparación de dos tipos de configuración:

A) INSTALACIÓN CON TODO CENTRALIZADO:

Este tipo de instalación contiene, a parte de los captadores comunes en la cubierta, todos los equipos en una única sala común para todo el edificio, tales como el intercambiador, acumulador, sistema de apoyo y sistemas de protección, lo que requiere un amplio espacio común.

El sistema consiste en recoger el fluido calo-portador caliente de los captadores y llevarlo al intercambiador, para producir un intercambio de calor con el agua que es llevada al acumulador solar común. Tras ello el agua se dirige al sistema de apoyo, común también para el edificio, donde se calienta de nuevo si fuera necesario elevar la temperatura. Finalmente el agua caliente se distribuye mediante el circuito hidráulico por todas las viviendas y en ellas a los puntos de consumo del edificio.

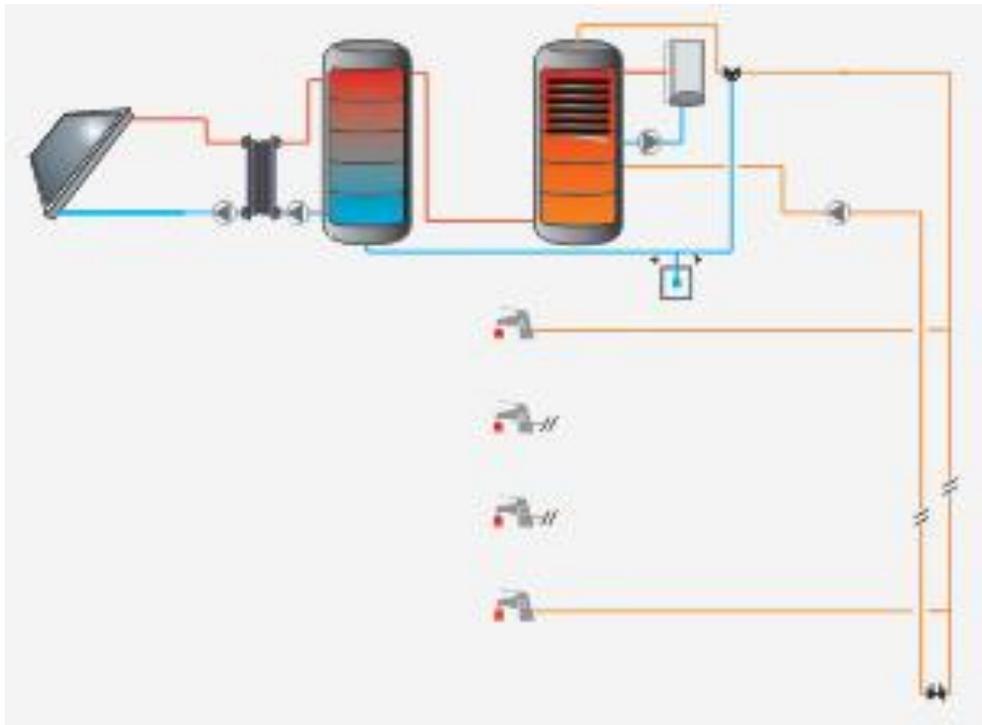


Figura 12. Esquema instalación con todo centralizado

A continuación se muestra en la Figura 13 la evolución que desarrolla la fracción solar aportada por la instalación a medida que se va incrementando el número de captadores solares. Como se observa en la gráfica la instalación empieza a cumplir con la mínima contribución solar exigida de 60 % a partir de 22 captadores. Sin embargo, para tener en cuenta las pérdidas térmicas en el circuito y cumplir con el mínimo factor solar del 60 %, se debe acudir a la instalación de 24 paneles solares (se ha mayorado el número de captadores para facilitar una instalación hidráulicamente equilibrada). Obviamente con este número de captadores se cumple con el número mínimo de 20 captadores que se han estimado anteriormente. Además es un número de captadores fácil de distribuir de forma equitativa y con un buen equilibrio hidráulico.

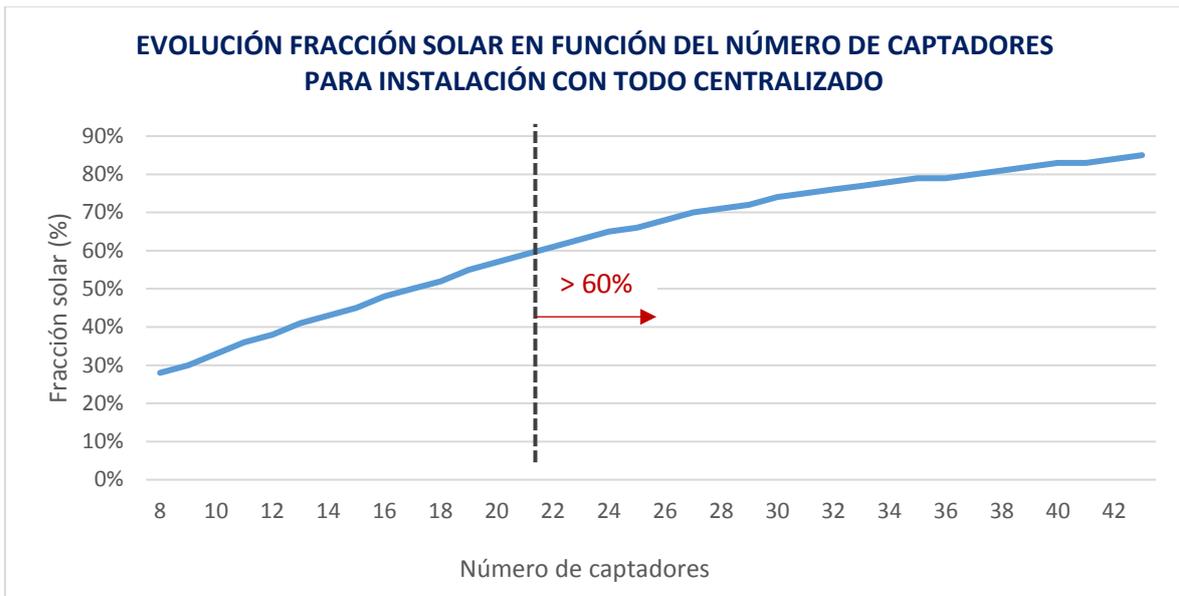


Figura 13. Evolución fracción solar en función de número de captadores (inst. centralizada)

B) INSTALACIÓN CON ACUMULACIÓN DISTRIBUIDA:

Este tipo de configuración tiene como elementos comunes los captadores solares y el intercambiador de calor, por lo que no se requiere de mucho espacio común en el edificio. Pero en cambio, se requiere espacio necesario en cada vivienda para albergar los sistemas de acumulación y sistemas de apoyo individuales. El sistema consiste en recoger el fluido calo-portador calentado de los captadores y conducirlo hasta el sistema de intercambio centralizado. Una vez sale de ahí se distribuye por medio del circuito hidráulico a las diferentes viviendas, y en ellas se produce la acumulación y el aporte auxiliar de energía con el sistema de apoyo, para distribuir finalmente el agua caliente a los puntos de consumo de cada vivienda.

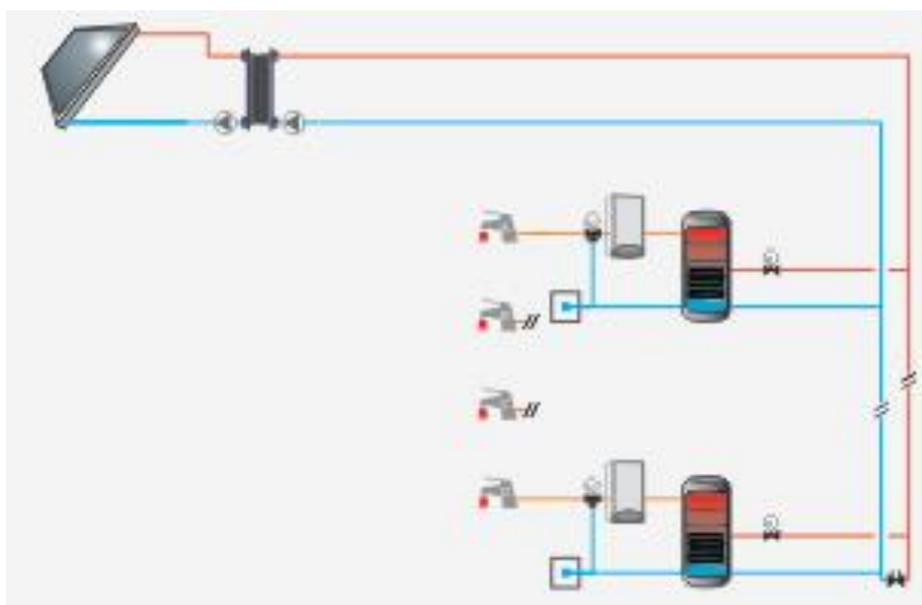


Figura 14. Esquema instalación con acumulación distribuida

En la siguiente *Figura 15* se muestra la evolución que desarrolla la fracción solar aportada por la instalación a medida que se va aumentando el número de captadores solares.

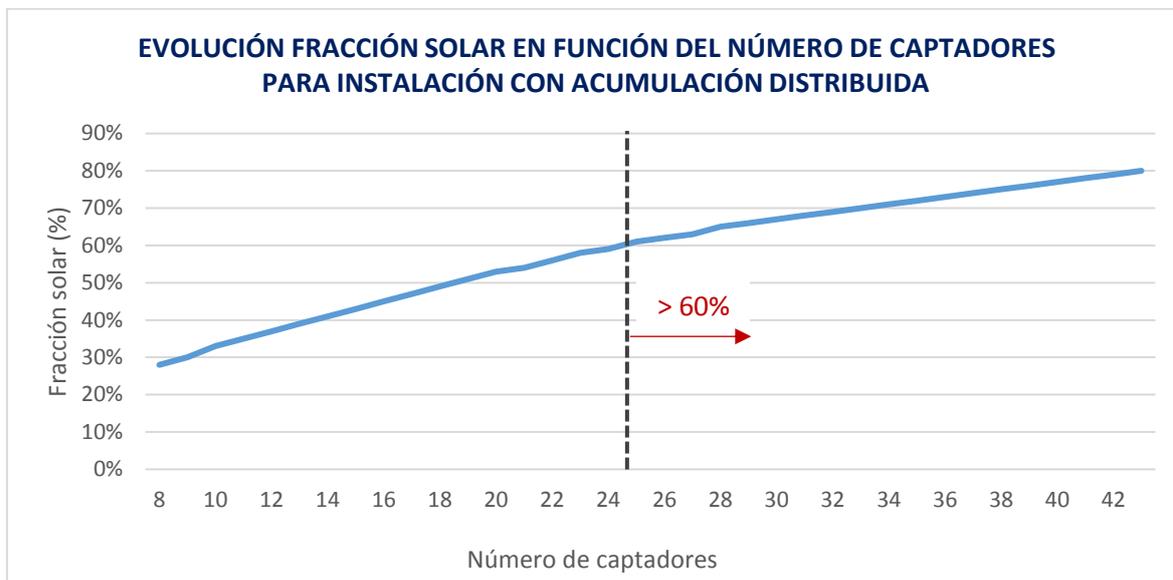


Figura 15. Evolución fracción solar en función del nº de captadores (inst. distribuida)

En este caso se observa que la instalación comienza a cumplir con el mínimo exigible a partir de algo más de 24 captadores, estando en este caso al límite del 60 %, por ello sería un riesgo poner 24 captadores ya que probablemente podría no cumplir. Entonces habría que poner el siguiente número de captadores que puedan adaptarse al espacio en cubierta y que la distribución sea óptima, siendo la mejor opción disponer de 25 captadores solares con un factor solar de 62 %.

3.1.6.1 Conclusión de los dos tipos de configuraciones

Se observa en ambas gráficas (*Figura 13* y *Figura 15*) que al principio la curva tiene una pendiente más elevada que al final con mayor número de captadores, esto se debe a que llega un momento en que el hecho de incrementar el número de captadores ya no incrementa demasiado la fracción solar, lo que quiere decir que podría ya no tener sentido poner más captadores cuando la pendiente se reduce.

En ambos casos se ha dejado un margen de fracción solar desde el valor mínimo de 60 %, ya que puede haber otro tipo de pérdidas que puedan reducir el rendimiento del sistema, por lo que hay que ser restrictivo a la hora de dimensionar el sistema. Además esta comprobación realizada con el programa (CHEQ4, 2013) es todavía una estimación de lo que va a ser el sistema, ya que los detalles de diseño del circuito hidráulico final no han sido introducidos de momento en el cálculo.

Finalmente, para el presente proyecto se decide optar por el **Tipo de instalación con todo centralizado**, ya que aporta:

- Mayor fracción solar con **menor número de captadores**, siendo necesarios 24, a diferencia de los 25 captadores que requiere el otro sistema para obtener una menor fracción solar. Además se tiene un espacio muy limitado en la cubierta, que dificultaría incluir más de 24 captadores sin que exista riesgo de sombra.

- **Mayor simplicidad** de la instalación debido a que los equipos de la instalación se ubican en salas técnicas sin la necesidad de ocupar superficie útil habitable en cada vivienda.
- Mayor simplicidad implica **menos pérdidas** en los diferentes sistemas y por lo tanto un mayor rendimiento. Cuantos menos subsistemas, menos pérdidas debidas a la transferencia de potencia de un subsistema al otro.
- **Menores costes** del proyecto. Al hacerlo todo centralizado el número de elementos a instalar de cada tipo es mínimo aunque ocupa un mayor volumen.

3.1.7 Estudio acerca de la disposición de captadores

Inicialmente se trabajaba con 20 captadores en cubierta, pero tras comprobar que no se cumple con los requerimientos mínimos en cuanto a contribución, finalmente se opta por la instalación de un total de 24 captadores para la configuración con todo centralizado. Se van a dividir en 4 grupos, y cada grupo estará formado por 6 captadores.

Para situar con precisión el lugar donde se van a colocar se va a proceder al cálculo de pérdidas por sombras, orientación e inclinación.

El (DB HE-4, 2013) impone unos límites de pérdidas de orientación, inclinación y sombras, que se recogen en la siguiente figura:

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
<i>Superposición de captadores</i>	20 %	15 %	30 %
<i>Integración arquitectónica de captadores</i>	40 %	20 %	50 %

Figura 16. Pérdidas límite de la instalación impuestas en el DB HE-4

Las pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar que incidiría sobre la superficie de captación orientada al sur, a la inclinación óptima y sin sombras.

Para el caso general, que es el de este proyecto, las pérdidas límite que se imponen son de 10 % de orientación e inclinación y de 10 % en sombras.

3.1.7.1 Orientación e inclinación

En primer lugar se va a definir la orientación de los captadores, que para aprovechar al máximo posible la energía del sol deben orientarse hacia el sur, y así es como se va a hacer, con un ángulo **azimut de 0°**, y así poder considerar nulas las pérdidas por orientación.

Por ello los captadores irán orientados hacia la calle número 1, que es hacia donde se encuentra el sur. Mostrándose a continuación en la *Figura 16* la planta del edificio desde el exterior, en la que se puede ver la cubierta, la orientación y las calles que lo rodean.

La inclinación óptima para el uso anual de una instalación es la que corresponde con la latitud donde se encuentra el edificio, que tal como se indica en el apartado '2.6.1. Emplazamiento' es: $37^{\circ} 53' 2,73''$, o lo que es lo mismo $37,884^{\circ}$.

Pero existen diferencias en el recorrido del sol en las diferentes estaciones del año, entonces dependiendo del periodo de utilización de la instalación habría que poner una diferente inclinación, con lo cual sería latitud + 10° cuando la demanda es preferentemente en invierno o latitud - 10° si es preferentemente en verano.

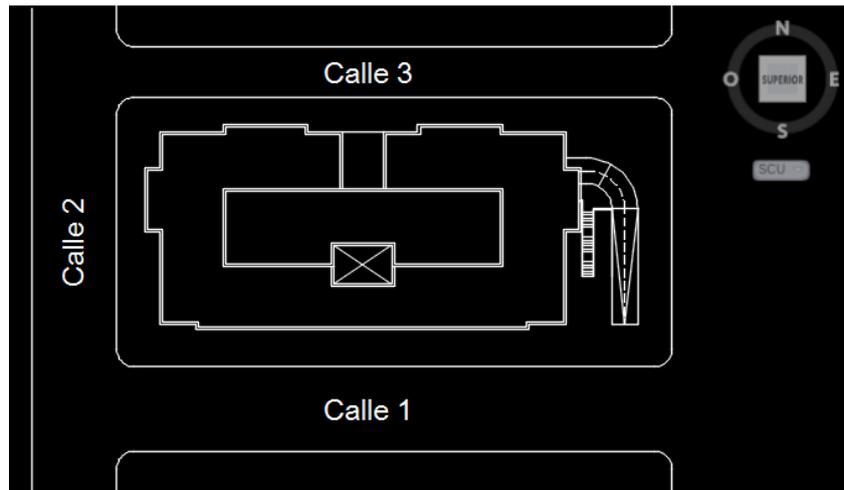


Figura 17. Planta del edificio

Esta instalación va a ser utilizada durante todo el año al tratarse de un edificio de viviendas. Por tanto sería una buena solución colocarlos con una inclinación igual a la latitud, pero se va a realizar un análisis del comportamiento anual que tendría la instalación a diferentes inclinaciones cercanas a la latitud para buscar la mejor opción.

Para ello se realiza en el CHEQ4 la simulación para diferentes inclinaciones obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 11. Fracción solar respecto la inclinación de los captadores

Inclinación ($^{\circ}$)	Fracción solar (%)
30	66
35	66
40	65
45	64

Como se observa, las inclinaciones que aportan mayor fracción solar a nivel anual son 30° y 35° , resultando el mismo valor para ambas. Pero finalmente se va a escoger una **inclinación de 35°** para no favorecer demasiado los meses de verano que sería el caso de 30° , ya que es cuando menos consumo de agua caliente se exige, por lo tanto disminuir más la inclinación perjudicaría los meses de invierno. Por lo tanto, se supone que las pérdidas por inclinación son prácticamente nulas.

Cabe señalar que estos valores de fracción solar pueden no ser los definitivos, los cuales se mostrarán cuando todos los cálculos de dimensionado estén definidos definitivamente, pero sirven para tener un orden de magnitud y así saber que inclinación ofrece mayor fracción solar.

En la Figura 18, se muestra un esquema señalando los ángulos de orientación e inclinación que se acaban de definir, para poder visualizar su posición:

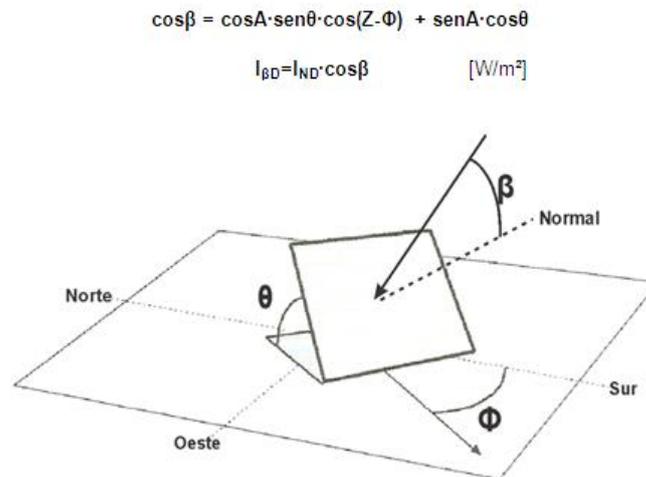


Figura 18. Ángulos de inclinación ϑ , orientación \varnothing respecto a la normal β de una superficie

3.1.7.2 Sombras

Tanto los edificios que existen alrededor, como el murete perimetral de la cubierta e incluso los mismos captadores hacen que, dependiendo de la posición del sol, la sombra de los mismos pueden generar zonas en los captadores a las que no llega la radiación solar. Estas sombras hacen que no se aproveche la radiación en toda la superficie de los captadores durante todas las horas de sol, lo que ocasiona pérdidas en el sistema.

Por este motivo, se estudia una posición estratégica de los paneles solares de forma que se reduzcan al máximo posible estas pérdidas, teniendo en cuenta las limitaciones arquitectónicas de la cubierta.

SOMBRA DEL MURO QUE RODEA LA CUBIERTA

La zona en la que se van a situar los captadores es la parte superior de la cubierta del edificio. Se muestra a continuación dicha superficie, señalando con azul el murete perimetral que la rodea.

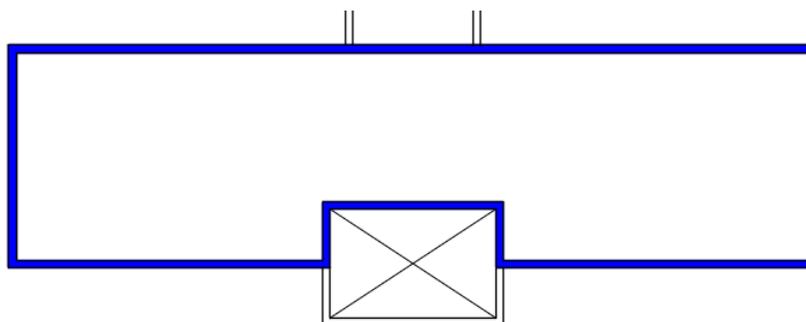


Figura 19. Cubierta en la que se sitúan los captadores

El murete perimetral que cierra la superficie de la cubierta puede hacer sombra a los captadores, por ello se va a calcular la distancia a la que se deben disponer los captadores de dicho muro para que le afecte lo mínimo posible.

Tal y como se explica en los apuntes de (Montagud & Cañada), los captadores deben situarse de forma que en el día más desfavorable del periodo de utilización, el captador no ha de tener más del 5 % de su superficie útil cubierta de sombras. En este caso en el que la utilización de los captadores es anual, el día más desfavorable es el 21 de diciembre, que corresponde con el solsticio de invierno.

Para realizar el cálculo de la distancia mínima que debe haber entre el murete perimetral y el captador se utiliza la siguiente expresión:

$$d = \frac{h}{\text{TAN } h_0} \quad (\text{Ec. 16})$$

Siendo:

d es la distancia que debe dejarse desde el muro al captador (en m)

h es la altura del obstáculo (en m)

h_0 es la altura solar (en m)

La altura del muro es de 0,50 m, y la altura solar se calcula de la siguiente forma:

$$h_0 = 90^\circ - \text{LATITUD} - 23,5^\circ = 90 - 37,884 - 23,5 = 28,616^\circ \quad (\text{Ec. 17})$$

Por lo tanto se obtiene:

$$d = \frac{0,5}{\text{TAN } 28,616} = 0,916 \text{ m} \approx 0,92 \text{ m} \quad (\text{Ec. 18})$$

Para obtener mejores resultados se va a ser más restrictivo alejándonos del mínimo, para ello la distancia a la que se colocarán las filas de captadores respecto del muro va a ser de 1 metro, de esta forma no se tendrá problemas con la sombra del mismo. De este modo, la situación del captador solar respecto del murete quedaría de la siguiente manera:

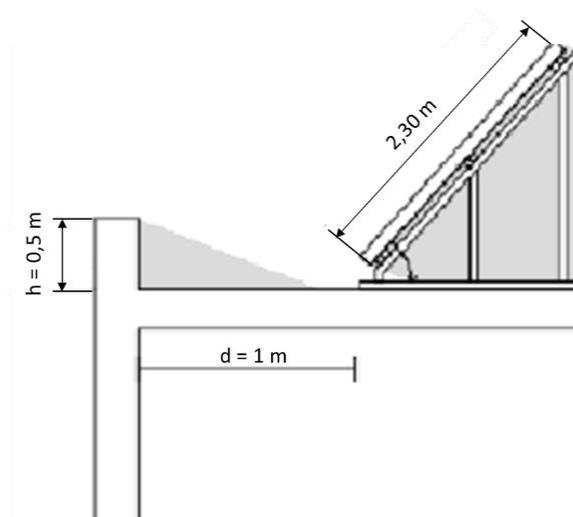


Figura 20. Situación captador respecto al murete perimetral.

SOMBRA DEL EDIFICIO POSTERIOR EN LA CARA SUR

Por otro lado, debido a que hay un edificio enfrente, en el lado sur, se va a calcular el efecto que tendría éste sobre los captadores. Éste edificio tiene una altura de 35 metros en la parte más alta de su cubierta, y está separado 30 metros de la cubierta en la que se van a tener los captadores.

En el siguiente esquema se muestra concretamente el lugar donde se van a colocar los captadores y la distancia hasta este otro edificio. Dado que los captadores van a estar repartidos entre los extremos de la cubierta y la sombra que van a recibir del otro edificio es simétrica, y está colocado totalmente al sur, se va a analizar el efecto de las sombras solamente del grupo de captadores que se encuentra en el lado derecho (lado Este), y en el otro lado tendrá el mismo efecto.

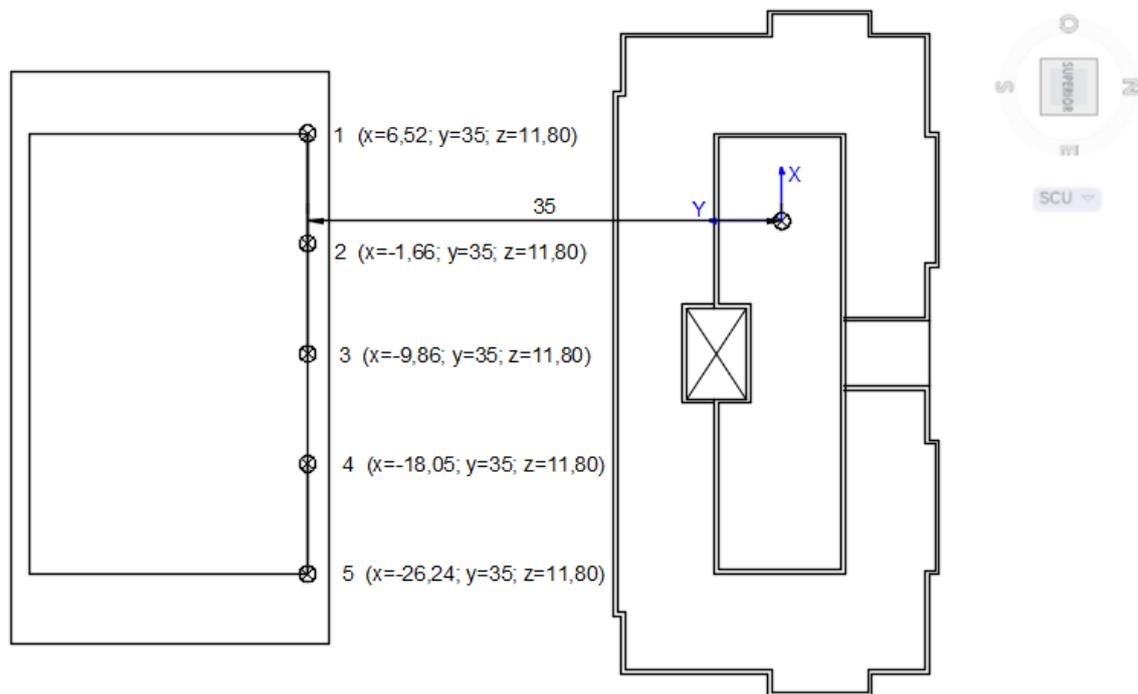


Figura 21. Esquema del estudio de los puntos que producen sombra.

Tras obtener las coordenadas cartesianas (X,Y,Z), se procede a realizar el cambio a coordenadas angulares (AZIMUT e INCLINACIÓN). En la siguiente imagen se muestra el punto 'r', reflejándose en el las coordenadas cartesianas y las angulares.

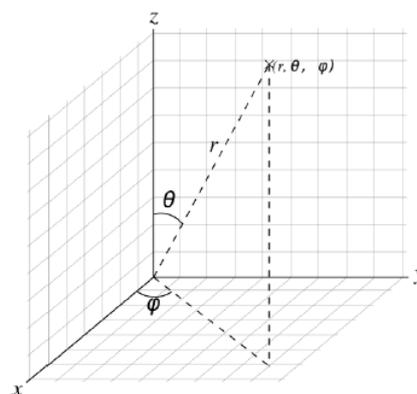


Figura 22. Coordenadas cartesianas y angulares de un punto.

Para realizar esta conversión se han llevado a cabo las siguientes operaciones en función del cuadrante en el que se encuentre cada punto, en este caso solo afecta al 1^{er} y 4^o cuadrante:

1^{er} cuadrante: $X > 0, Y > 0$

AZIMUT: ángulo de desviación respecto a la dirección sur (dirección del eje Y) = $90 - \varphi$

$$\varphi = \arctg \frac{Y}{X} \quad (\text{Ec. 19})$$

NCLINACIÓN: ángulo de elevación con respecto al plano horizontal (plano XY) = $90 - \theta$

$$\theta = \arccos \frac{Z}{r} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (\text{Ec. 21})$$

4^o cuadrante: $X < 0, Y > 0$

AZIMUT: ángulo de desviación respecto a la dirección sur (dirección el eje Y) = $-\varphi - 90$

$$\varphi = \arctg \frac{Y}{X} \quad (\text{Ec. 22})$$

PUNTOS	COORDENADAS CARTESIANAS			COORDENADAS CARTESIANAS	
	X	Y	Z	AZIMUT	INCLINACIÓN
1	7,49	35	12,02	12,08	18,56
2	-0,7	35	12,02	-1,15	18,95
3	-8,89	35	12,02	-14,25	18,41
4	-17,08	35	12,02	-26,01	17,15
5	-25,27	35	12,02	-35,83	15,56

Una vez se han obtenido las coordenadas angulares se representan los coordenadas en el siguiente diagrama y se unen formando un polígono.

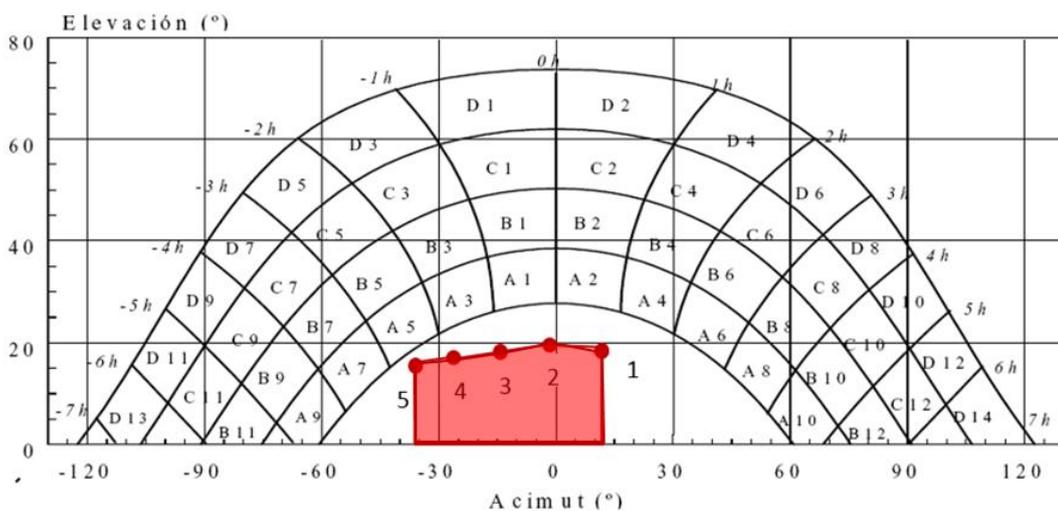


Figura 23. Diagrama de trayectorias del Sol.

Como se ha podido observar en el diagrama, ningún punto del edificio intercepta la trayectoria del sol en ningún periodo del año. Por lo tanto, se concluye que las pérdidas por sombras respecto a los obstáculos que el edificio tiene alrededor son nulas.

DISTANCIA ENTRE CAPTADORES

Para colocar los captadores unos detrás de otros también hay que tener en cuenta el efecto de la sombra que provocan unos captadores sobre los otros. Y al igual que se ha realizado con el muro de la cubierta, se va a calcular la distancia de forma que no tenga más del 5 % de su superficie útil cubierta de sombras. En este caso en el que la utilización de los captadores es anual, el día más desfavorable es el 21 de diciembre, que corresponde con el solsticio de invierno.

Primero hay que en cuenta el siguiente esquema y con las siguientes nomenclaturas:

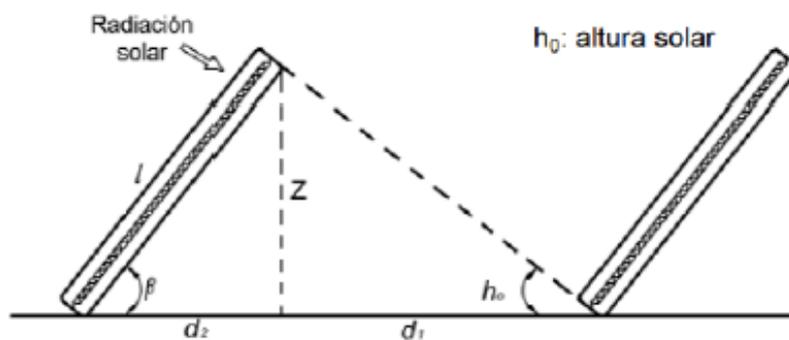


Figura 24. Esquema separación de captadores

Y con ello se obtiene la siguiente fórmula para el cálculo de la distancia entre la parte más baja de ellos:

$$d_{sep} = d_1 + d_2 = \frac{Z}{\tan h_0} + \frac{Z}{\tan \beta} = l \cdot \frac{\text{sen} \beta}{\tan h_0} + l \cdot \frac{\text{sen} \beta}{\tan \beta} \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde:

Z es la altura desde el suelo hasta el punto superior del captador solar, que se descompone de la siguiente forma $Z = l \cdot \text{sen} \beta$

h_0 es la altura solar

β es el ángulo de inclinación del captador

l es la dimensión más ancha del captador

$$d_{sep} = 2,67 \frac{\text{sen}(35)}{\text{TAN}(28.61)} + 2,67 \frac{\text{sen}(35)}{\text{TAN}(35)} = 2,807 + 2,187 = 4,99 \text{ m} \quad (\text{Ec. 24})$$

$$d_1 = 2,80 \text{ m}; \quad d_2 = 2,19 \text{ m}$$

Además, se ha fijado anteriormente la distancia a la que va a situarse el captador respecto al muro, siendo esta distancia 1 m. Con ello se va a comprobar si caben dos filas de captadores en la superficie más estrecha de la cubierta del edificio, y así poder centrarlos, siendo el ancho de la cubierta en ese tramo de 6,67m.

La distancia que ocupan dos filas de paneles solares desde la base inferior de cada uno, teniendo en cuenta la distancia que hay entre ellos será:

$$D \text{ base captadores} = 4,99 + 2.19 = 7.18 \text{ m} \quad (\text{Ec. 25})$$

Si además se añade la distancia a la que hay que colocarlo del muro:

$$D \text{ capt. y sombra muro} = 7.18 + 1 = 8.18 \text{ m} \quad (\text{Ec. 26})$$

La distancia de 8,18 es la que ocupan dos filas de captadores desde el muro hasta la proyección horizontal que ocupa la segunda fila.

Puesto que $8,18 \text{ m} > 6,67 \text{ m}$, la distancia que ocuparían es mucho mayor a la distancia que hay disponible, no es posible situarlos en este espacio.

Para solucionarlo se opta por colocarlos en los lados más anchos de la cubierta, que mide 9,08, pero además es necesario dividir los captadores en dos grupos para que puedan adaptarse al espacio disponible.

Por tanto, la distancia restante para llegar al muro posterior será igual a la distancia total disponible menos lo que ocupan dos filas de captadores con la separación del murete perimetral y sus respectivas distancias de separación:

$$D \text{ restante} = 9,08 - 8.18 = 0.9 \text{ m} \quad (\text{Ec. 27})$$

Queda una distancia de 0,9 metros hasta el murete perimetral posterior, por lo tanto sí que caben en dos filas en los extremos de la cubierta.

Tras este análisis sobre los aspectos que influyen en la disposición de los captadores, se sitúan en la cubierta cumpliendo con esas características calculadas, y distribuyéndolo de la forma más óptima en cuanto a espacio y teniendo en cuenta una distribución en la que se pueda mantener un buen equilibrio hidráulico. Quedando finalmente colocados como se muestra en la Figura 25.

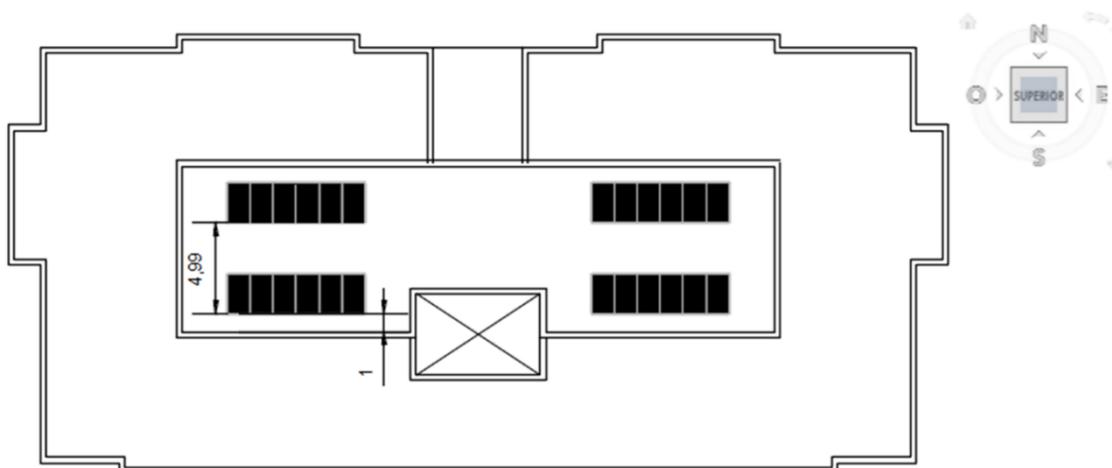


Figura 25. Esquema distribución de captadores en cubierta

3.2 DIMENSIONADO DEL ACUMULADOR

Como primera aproximación, se ha optado por una instalación con todo centralizado, por lo que se tiene un solo acumulador común a todo el edificio.

El volumen del acumulador debe ser como mínimo la demanda diaria del edificio, que como se había calculado en el apartado '3.1.1 CALCULO DEMANDA DE AGUA' se trata de 3.360 l/día.

Una vez calculada la superficie real de captación, se puede comprobar que cumple con la condición que impone el (DB HE-4, 2013):

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad (\text{Ec. 28})$$

Siendo el Área de captación 64,08 m²:

$$V \text{ mínimo} > 50 * 64,08 = 3.204 \text{ litros} \quad (\text{Ec. 29})$$

$$V \text{ máximo} < 180 * 64,08 = 11.534,4 \text{ litros} \quad (\text{Ec. 30})$$

Por lo tanto el volumen de 3.360 cumple con el CTE, pero este valor es el volumen base a partir del cual se busca un acumulador comercial, que puede ser de un valor superior pero no inferior, de este modo se tendrá un margen de seguridad.

El modelo elegido para el acumulador cumpliendo con un volumen mínimo de 3.360 litros es el **ACUMULADOR DE INERCIA Código CC 01 545 Modelo AN 4000 Litros, de Salvador Escoda.**



ACUMULADOR DE INERCIA		
CC 01 535	AN 100	385,00
CC 01 536	AN 200	550,00
CC 01 537	AN 300	620,00
CC 01 538	AN 500	790,00
CC 01 539	AN 800	995,00
CC 01 540	AN 1000	1.150,00
CC 01 541	AN 1500	1.390,00
CC 01 542	AN 2000	1.650,00
CC 01 543	AN 2500	1.995,00
CC 01 544	AN 3000	2.350,00
CC 01 545	AN 4000	3.350,00
CC 01 546	AN 5000	3.800,00

Figura 26. Catálogo acumulador solar

Se adjunta la ficha técnica en el ANEXO I.

3.3 DIMENSIONADO DEL INTERCAMBIADOR

La potencia de un intercambiador viene definida por la siguiente expresión:

$$P = Q * \Delta T * A \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

P es la potencia del intercambiador (W)

Q es la transferencia de calor por unidad de área de captación (W/m^2K)

ΔT es el incremento de temperatura media en el intercambiador (K)

A es la superficie del campo de captadores (m^2)

Pero existe una recomendación dada por el CTE y el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura (IDAE & CENSOLAR, 2009), para la cual la potencia del intercambiador es función del área de captación, y debe cumplir la siguiente condición:

$$P \geq 500 \cdot A \quad (\text{Ec. 32})$$

Es decir, se recomienda utilizar una potencia de intercambio mínima de 500 W por cada metro cuadrado de superficie de captación, ya que este método es más restrictivo que a

Para obtener mejores resultados se va a suponer una transferencia de calor de $600 W/m^2$, entonces la potencia mínima para el intercambiador será la siguiente:

$$P=600*64.08=38.448 \text{ W} \quad (\text{Ec. 33})$$

Es decir **38,45 KW** es la mínima potencia que debe tener el intercambiador. Además se tendrá en cuenta que las pérdidas de carga deben de ser menores de 3 mca, límite impuesto en el Pliego de Condiciones Técnicas de (IDAE & CENSOLAR, 2009).

El modelo de intercambiador elegido teniendo en cuenta las características expuestas es un intercambiador de placas termo soldado, **modelo CC 08 022 IDS30-20M de Salvador Escoda**, que consta de 20 placas y tiene una potencia de **40 KW**.



Código	Artículo	Peso Kg	Medidas mm	€
CC 08 002	IDS14-20H de 20 placas	1,2	55 x 78 x 209	110,00
CC 08 003	IDS14-30H de 30 placas	2,4	78 x 78 x 209	140,00
CC 08 004	IDS14-40H de 40 placas	3	101 x 78 x 209	170,00
CC 08 022	IDS30-20M de 20 placas	3,7	57 x 110 x 310	205,00
CC 08 023	IDS30-30M de 30 placas	4,9	81 x 110 x 310	255,00
CC 08 024	IDS30-40M de 40 placas	6,1	105 x 110 x 310	305,00
CC 08 052	IDS110-20M de 20 placas	14,2	58 x 191 x 616	595,00
CC 08 053	IDS110-30M de 30 placas	17,8	82 x 191 x 616	755,00
CC 08 054	IDS110-40M de 40 placas	21,4	105 x 191 x 616	915,00

Figura 27. Catálogo del intercambiador de calor

Se adjunta la ficha técnica en el ANEXO I.

3.4 DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE APOYO

Como se ha indicado en el apartado '3.1.3. CALCULO DE LA APORTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR' la contribución solar mínima de la instalación es de un 60 %, por lo tanto, existe una necesidad mínima de un 40 % de aportación de un sistema auxiliar para cubrir las necesidades de ACS.

Para ello, se procederá a instalar un interacumulador de apoyo y una caldera que aporte el calor necesario. Para transferir la potencia de la caldera al circuito de consumo se conecta con una canalización hasta el interacumulador. Además habrá una bomba circuladora encargada de hacer circular el agua de la caldera al interacumulador, viceversa. Habrá una válvula de tres vías conectada a un sistema de control, la cual desviará el agua de la salida del acumulador cuando ésta esté a una temperatura inferior a los 60°C.

3.4.1 Diseño interacumulador

Se estima que el consumo de ACS en hora punta es del 70 % del consumo diario, ya que es un edificio de grandes dimensiones, lo que implica que el volumen de acumulación de este sistema de apoyo debe ser el siguiente:

$$V_{acumulación} = 3.360 * 0,7 = 2.352 m^3 \quad (\text{Ec. 34})$$

Por lo tanto, se debe escoger un sistema de acumulación que se adapte a este volumen, y además que disponga de un intercambiador en su interior que será el encargado de calentar el agua mediante un equipo auxiliar, es decir que se necesita un interacumulador.

El modelo más idóneo para este este servicio que se ha seleccionado es el **INTERACUMULADOR SERIE IN 2500 litros, Código CC 01 528**



Código	Artículo	€
INTERACUMULADOR SERIE IN		
CC 01 520	IN 100	675,00
CC 01 521	IN 200	730,00
CC 01 522	IN 300	795,00
CC 01 523	IN 500	995,00
CC 01 524	IN 800	1.390,00
CC 01 525	IN 1000	1.580,00
CC 01 526	IN 1500	1.930,00
CC 01 527	IN 2000	2.460,00
CC 01 528	IN 2500	2.790,00
CC 01 529	IN 3000	3.370,00
CC 01 530	IN 4000	4.490,00
CC 01 531	IN 5000	4.990,00



Figura 28. Catálogo interacumulador de apoyo

Se adjunta la ficha técnica en el ANEXO I.

3.4.2 Diseño de la caldera

De acuerdo a la recomendación del documento (Montagud & Cañada,2015) la caldera debe tener la potencia suficiente como para trabajar de forma continua sin la contribución del sistema solar. En este caso, para dimensionar la potencia de la caldera de apoyo supondremos que ésta tiene que ser capaz de calentar en 1 hora todo el volumen del acumulador de apoyo desde la temperatura media del agua de la red hasta 60°C.

Para conocer la potencia necesaria que debe tener la caldera se recurre a la siguiente expresión:

$$P_{caldera} = \frac{V_{apoyo} \cdot C_p \cdot \Delta T}{t} \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde,

V_{apoyo} es el volumen del acumulador de apoyo, siendo el interacumulador definido anteriormente de un volumen de 2.500 litros

C_p es el calor específico del fluido, en este caso agua, 4,18 kJ/kg·K

ΔT es la diferencia de temperatura que debe vencerse en el caso más estricto. La temperatura media del agua de red se ha obtenido de los datos del documento DB HE-4, siendo 15,08°C. De modo que para llegar a los 60°C de diseño este intervalo tiene un valor de 44,92°C.

t es el tiempo necesario para calentar el agua del acumulador, para el cual se ha supuesto: 1 hora = 3600 segundos.

Obteniendo finalmente el siguiente resultado:

$$P_{caldera} = \frac{2.500 \cdot 4,18 \cdot 44,92}{3.600} = 130,39 \text{ kW} \quad (\text{Ec. 36})$$

Es decir, se requiere de una caldera de al menos 130,39 kW, y tras consultar los catálogos se ha seleccionado el **modelo RCB 3S 150 de Area Energy**, con 150 kW de potencia.



		150
Potencia útil	kW	150
Rendimiento útil ⁽¹⁾ con carga 100%	%	91,4%
Rendimiento útil ⁽¹⁾ con carga 30%	%	92,3%
Sobrepresión cámara combustión	mm.c.a.	12
Pérdida presión circuito agua Δt=15°C	mm.c.a.	120
Peso neto aproximado	kg	385
Anchura cota A	mm	880
Altura cota B	mm	940
Profundidad cota D	mm	1.394
Diámetro evacuación de humos cota G	mm	195
Ida cota a	"	DN 65
Retorno cota b	"	DN 65
Capacidad agua	l	170
Presión máxima de trabajo	bar	5

Figura 29. Catálogo caldera de apoyo

Se adjunta ficha técnica en el ANEXO I.

3.5 DIMENSIONADO CIRCUITO PRIMARIO

El circuito primario se extiende desde los captadores solares hasta el sistema de intercambio primario. Se muestra en la *Figura 30* el esquema del circuito primario.

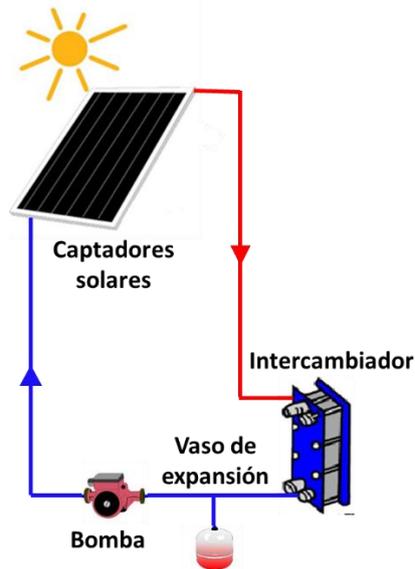


Figura 30. Esquema circuito primario

Para dimensionar el circuito hidráulico de dicho sistema, se deben conocer múltiples características, para empezar se ha definido la conexión entre los captadores en paralelo y entre los grupos de captadores también, dado que para instalaciones grandes (mayor de $20 m^2$) ésta suele ser la conexión más eficiente (Ribera, 2008).

El campo de captación se compone de 24 captadores, que deben ir organizados de forma que se garantice el mejor rendimiento posible y se ajuste a las limitaciones arquitectónicas, de modo que se distribuyen en cuatro grupos de 6 captadores cada uno.

La conexión entre los captador de cada fila se realiza en paralelo y la que hay entre diferentes filas también se realiza en paralelo dos a dos, ya que esta distribución es la recomendada para instalaciones de gran consumo, además de las ventajas que proporciona: cada captador trabaja proporcionando el mismo salto térmico, el caudal trasegado por toda la batería es constante y la instalación tiene mayor rendimiento.

Además de estar conectado en paralelo, se realiza la conexión con retorno invertido, lo que permite que el recorrido que realice el fluido, independientemente del captador por el que circule, sea el mismo y por tanto se produce el equilibrio hidráulico y la pérdida de carga es igual en todo el campo de captadores.

Por otro lado, el caudal mínimo proveniente del circuito primario se obtiene en función del modelo de captador y de la superficie de captación.

En primer lugar se obtiene el dato obtenido sabiendo que el caudal de ensayo del captador elegido es de $72 l/h \cdot m^2$ y la superficie total de captación es $64.08 m^2$, por tanto:

$$\text{Caudal circuito primario} \left(72 \frac{l}{hm^2} \right) = 72 * 64,08 = 4.613,76 l/h \quad (\text{Ec. 37})$$

Però, con este elevado caudal de trabajo se encarecerían los componentes del sistema hidráulico, por ello se va a seguir la recomendación de (Ribera, 2008), en el que se da como valor usual para este tipo de instalaciones un caudal de circulación del captador de $50 l/h \cdot m^2$, de este modo:

$$\text{Caudal circuito primario} \left(50 \frac{l}{hm^2} \right) = 50 * 64,08 = 3.204 l/h \quad (\text{Ec. 38})$$

Esta reducción del caudal respecto al de ensayo conlleva unas leves pérdidas de eficiencia en el captador, pero a nivel de fracción solar no varía, lo cual ha sido comprobado en el (CHEQ4, 2013), y va a ser un caudal más apropiado para no encarecer el resto del sistema hidráulico y no tener mayores pérdidas debido al aumento de caudal y diámetro de las tuberías.

Para calcular el caudal proveniente de cada grupo de captadores es suficiente con multiplicar el número de captadores por el caudal de diseño que se ha establecido de cada captador. De este modo se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{Caudal 1 captador} = 2,67m^2 \cdot \frac{50l}{h \cdot m^2} = 133,5 \frac{l}{h} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$\text{Caudal 1 grupo de captadores} = 6 \text{ captadores} * 133,5 \frac{l}{h} = 801 l/h \quad (\text{Ec. 40})$$

$$\text{Caudal 2 grupos de captadores} = 12 \text{ captadores} * 133,5 \frac{l}{h} = 1.602 l/h \quad (\text{Ec. 41})$$

De forma que la distribución de tuberías será la mostrada en la Figura 30.

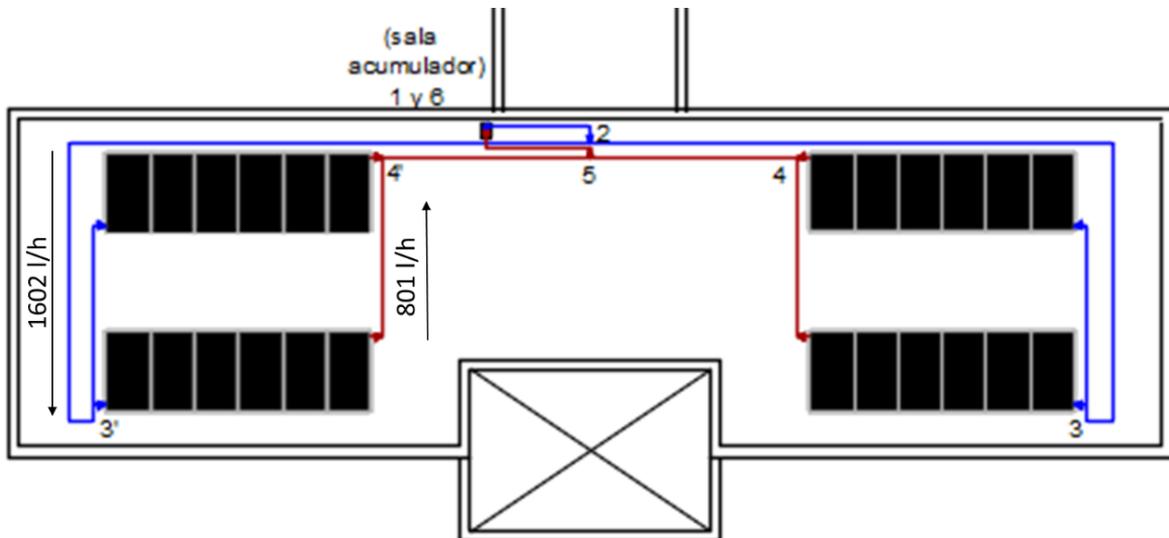


Figura 31. Esquema distribución de tuberías en cubierta.

3.5.1 Fluido caloportador

Gracias a la adición de un fluido anticongelante se protege la instalación frente a posible congelación o ebullición del fluido. Pero en contra, también se obtienen desventajas que son el aumento de la toxicidad, la viscosidad y la dilatación, y la disminución de la estabilidad y el calor específico. Los dos fluidos anticongelantes más comúnmente utilizados en instalaciones de red de agua caliente, son el etilenglicol y el propilenglicol. Para esta instalación se opta por utilizar propilenglicol, debido a ser el más recomendado para solar térmica y es menos contaminante.

Para proteger el circuito primario frente a heladas se debe incorporar al agua de una concentración de un líquido anticongelante, cuyo punto de congelación esté por debajo de la temperatura mínima histórica. La cual es para la ciudad de Córdoba de -8.2°C , dato obtenido del documento de condiciones climáticas (Condiciones climáticas exteriores, 2010).

La concentración que se va a usar del mismo se obtiene mediante la *Figura 31*, en la que a partir de la temperatura de congelación del fluido se obtiene la concentración en porcentaje en peso. La temperatura que se introduce en la tabla es 5°C menor que la temperatura mínima histórica ($-8.2-5=-13.2^{\circ}\text{C}$), de este modo se tiene un margen de seguridad.

Para la temperatura de congelación de -13.2°C se debe poner una concentración de propilenglicol del 30 % en peso, y por tanto el 70 % será agua.

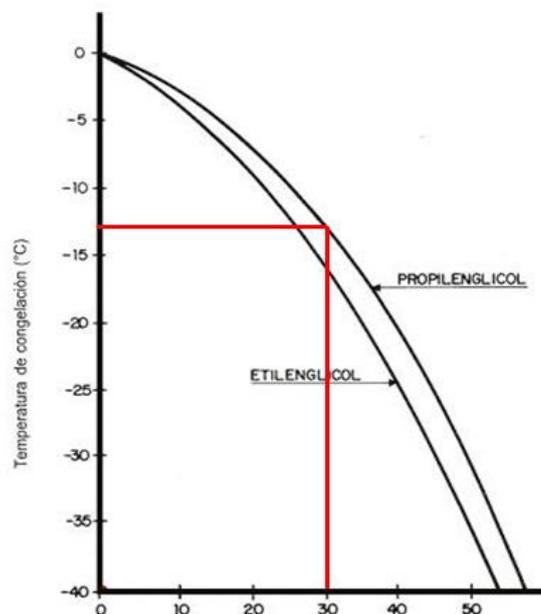


Figura 32. Concentración de anticongelante (% en peso)

Tras conocer la concentración de glicol se pueden obtener otras características del fluido caloportador, que se numeran a continuación:

- Densidad de la mezcla es de $1,002 \text{ g/cm}^3$.
- Calor específico es de $0,95 \text{ kcal/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ o lo que es lo mismo $3.971 \text{ KJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

- Viscosidad de la mezcla 0,9 centipoises.

La obtención de estos parámetros se desarrolla en el ANEXO 8.2.

El fluido comercial que se ajusta a las características anteriores, y por tanto el que va a ser utilizado es el modelo **ESCOGLICOL PLUS FLD 160 de Salvador Escoda**.



• **Fluido calor-portante**

Código	Artículo	€
	<ul style="list-style-type: none"> • Especialmente indicado para instalaciones de energía solar térmica • Condiciones límite de trabajo: -25 a 170° C • Ficha técnica con características y garantía del fluido 	
SO 07 020	ESCOGLICOL PLUS FLD 160 10 litros	47,00
SO 07 021	ESCOGLICOL PLUS FLD 160 25 litros	83,00
SO 07 022	ESCOGLICOL PLUS FLD 160 50 litros	158,00
SO 07 023	ESCOGLICOL PLUS FLD 160 120 litros	368,00

Figura 33. Catálogo fluido calor-portante

Se adjunta la ficha técnica en el ANEXO 1.

3.5.2 Cálculo de pérdidas de carga en tuberías y accesorios (cto. primario)

El material elegido para las tuberías es el cobre, ya que tiene buenas propiedades, tales como no oxidarse al contacto con el agua y aguantar temperaturas muy altas, lo cual es importante dado que para prevención de legionelosis deben ser capaces de soportar periódicamente 70°C.

Para calcular la pérdida de carga unitaria se aplica la siguiente expresión:

$$P_{carga} = P_{carga}(grÁfico) \cdot k_1 \cdot k_2 \tag{Ec. 42}$$

Donde:

k_1 : factor corrector temperatura

k_2 : factor corrector tipo de fluido

El factor de corrección k_1 viene dado por la siguiente tabla:

Tabla 12. Factor de corrección, k_1 , para temperaturas medias del agua distintas a de 45°C

Temp. agua (°C)	5	10	20	40	45	50	60	80	90	95
Factor corrector (k_1)	1,24	1,18	1,09	1,02	1	0,99	0,96	0,92	0,91	0,91

La temperatura del agua de red para el que se ha dimensionado es de 60°C, por ello como se muestra en la Tabla 12, el factor corrector k_1 es 0,96.

$$k_2 = \sqrt{\frac{\text{viscosidad de la mezcla}}{\text{viscosidad del agua}}} \quad (\text{Ec. 43})$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{0,9}{0,4}} = 1,22 \quad (\text{Ec. 44})$$

Se debe obtener la pérdida de carga para los distintos tramos en los que se divide la tubería de la cubierta (según Figura 31) que son los siguientes:

- **Tramo 1-2:** 3.204 l/h = 3,20 m³/h
- **Tramo 2-3=2-3':** 1.602 l/h = 1,60 m³/h
- **Tramo 3-4=3'-4':** 801 l/h = 0,80 m³/h
- **Tramo 4-5=4'-5':** 1.602 l/h = 1,60 m³/h
- **Tramo 5-6:** 2.304 l/h = 3,20 m³/h

Se utiliza la Figura 33, siendo ésta el gráfico que relaciona la pérdida de carga para diferentes parámetros en tuberías de cobre, buscando el diámetro y la pérdida de carga para cada tramo, cumpliendo con los siguientes requisitos mínimos que se imponen en Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE:

- La pérdida de carga unitaria no puede superar 40 mm
- La velocidad de circulación del fluido debe ser inferior a 3 m/s por discurrir por el exterior del edificio, y ser superior de 0,3 m/s.

Además, se seleccionarán sólo diámetros comerciales de tubos de cobres según la Norma UNE-EN 1057, teniendo en cuenta que sea el diámetro más pequeño posible, ya que de esta forma las pérdidas de calor en la canalización serán menores, pero también valorando tener la mínima pérdida de carga por rozamiento, siendo más estrictos que las condiciones técnicas que dice el IDAE no se va a superar los 30 mmca/m.

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

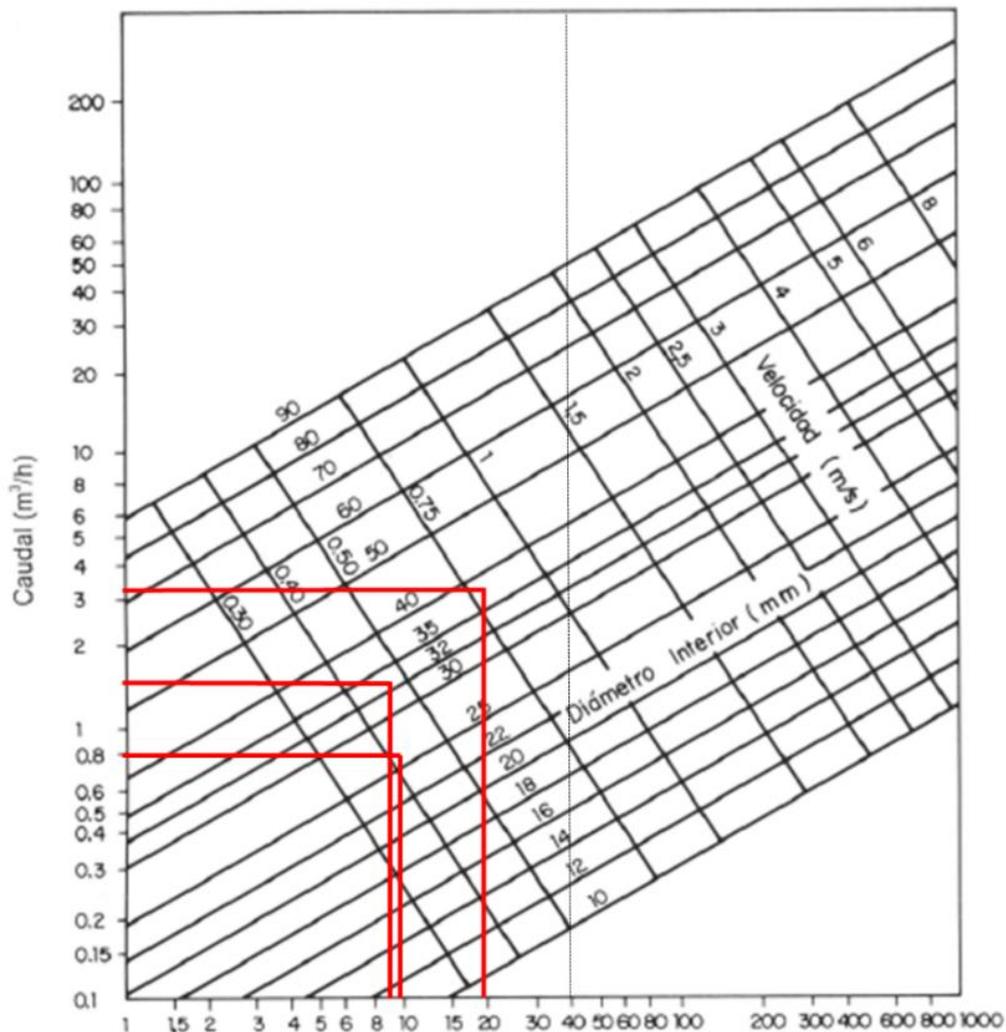


Figura 34. Pérdida por rozamiento (mm c.a. por m) para tubería de cobre, (circuito primario)

Con los datos obtenidos en la Figura 33 y aplicando los factores correctores, se obtienen los siguientes resultados de pérdida de carga en el circuito a partir de las pérdidas unitarias (j).

Tabla 13. Cálculo pérdida de carga en el circuito primario

TRAMO	CAUDAL (l/h)	Dint (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	j grafico (mmca/m)	j corregida (mmca/m)	Pérdida de carga (mmca)
1-2	3.204	38	0,80	5,72	19	22,25	127,29
2-3	1.602	33	0,48	23,59	9	10,54	248,66
2-3'	1.602	33	0,48	23,59	9	10,54	248,66
3-4	801	26	0,42	11,38	9,5	11,13	126,62
3'-4'	801	26	0,42	11,38	9,5	11,13	126,62
4-5	1.602	33	0,48	5,80	9	10,54	61,14
4'-5	1.602	33	0,48	5,80	9	10,54	61,14
5-6	2.304	38	0,80	5,95	19	22,25	132,40
TOTAL PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS CIRCUITO PRIMARIO							1.132,52

Se considera que las pérdidas de carga en los accesorios suponen el 30 % de las pérdidas en tuberías. Dado que el valor de las pérdidas de carga en las tuberías es de 1.132,52 mmca, el valor en los accesorios se determina de la siguiente forma:

$$h_{acc1} = 1.132,52 * 0,3 = \mathbf{339,75 \text{ mmca}} \quad (\text{Ec. 45})$$

3.5.3 Cálculo de pérdidas de carga en los captadores

La pérdida de carga puede obtenerse de los datos de la ficha técnica del modelo de captador, pero como en este caso el catálogo no proporciona dicha información se estima la pérdida de carga mediante un gráfico genérico de la pérdida de carga en un captador solar. De modo que se busca en la Figura 34 el valor de pérdida de carga en un captador correspondiente a un caudal, el cual es el que circula por cada captador. Como la conexión entre captadores se ha realizado en paralelo la pérdida total es igual a la pérdida de un solo captador.

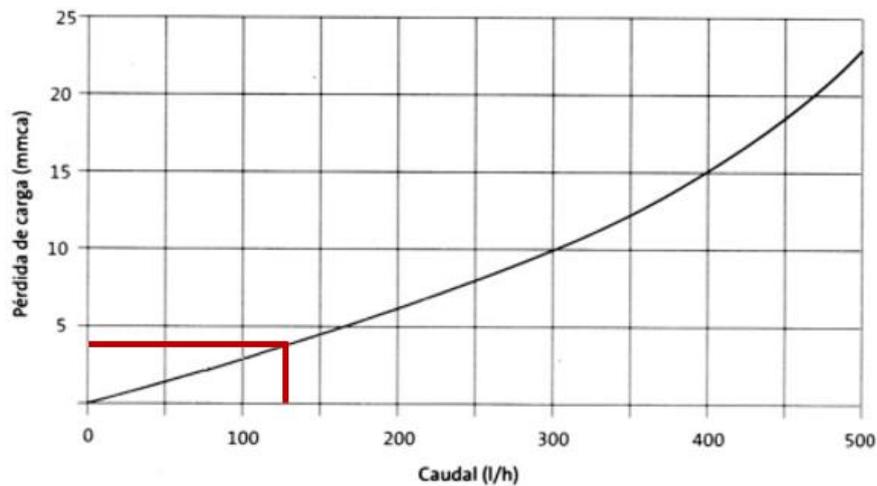


Figura 35. Pérdida de carga de un captador solar

Entonces, para un caudal de 133 l/h por captador la pérdida de carga es de **4 mmca**, valor casi despreciable, pero se tendrá en cuenta en el sumatorio de pérdidas de carga.

Por otro lado, es necesario calcular también la pérdida de carga en la tubería de distribución de los captadores. Teniendo en cuenta que el diámetro de las tuberías de los captadores es de 26mm, la longitud del circuito de distribución en captadores en una fila es de 8,5 m (2,30+1,24*5) y el caudal correspondiente a ese circuito es 666,65 l/h (133,33*5), se obtiene una pérdida de carga unitaria de 7 mmca/m obtenida de la Figura 33. Siendo finalmente el resultado de la pérdida de carga de distribución el expresado a continuación:

$$\text{PÉRDIDA DE CARGA DISTRIBUCIÓN CAPTADOR} = 7 \cdot 1,22 \cdot 0,96 \cdot 8,5 = 69,68 \text{ MMCA} \quad (\text{Ec. 46})$$

$$\text{PÉRDIDA DE CARGA TOTAL EN LOS CAPTADORES} = 69,68+4 = \mathbf{73,68 \text{ MMCA}} \quad (\text{Ec. 47})$$

3.5.4 Cálculo de pérdidas de carga del intercambiador (cto. primario)

En el apartado 3.3 se cita el modelo de intercambiador, el cual indica en su ficha técnica que la máxima pérdida de carga que aporta es de **3 mca a 3.500 l/h** en ambos lados del circuito (1º y 2º). Pero este valor no es el que corresponde con la instalación, ya que el caudal de circulación por el primario y por el secundario es menor que el expuesto en la ficha técnica.

Para obtener el valor exacto de la pérdida de carga en el intercambiador se corrige teniendo en cuenta el caudal de circulación, siguiendo el siguiente procedimiento:

Las pérdidas de carga se definen con la siguiente expresión:

$$h_m = k \cdot Q^2 \quad (\text{Ec. 48})$$

Donde:

h_m son las pérdidas menores, que para este caso se refiere a las pérdidas de carga.

k es la constante de pérdidas

Q es el caudal circulante por la tubería

En primer lugar se calcula la constante k con los datos del fabricante:

$$k = \frac{h_m}{Q^2} = \frac{3}{3.500^2} = 2,45 \cdot 10^{-7} \quad (\text{Ec. 49})$$

Para el caudal del circuito primario se tiene el caudal de 3240 l/h, con lo que la pérdida de carga será la siguiente:

$$h_{m1} = 2,45 \cdot 10^{-7} \cdot 3.204^2 = 2,51 \text{ mca} \quad (\text{Ec. 50})$$

3.5.5 Dimensionado de la bomba de recirculación del circuito primario

Para la elección de la bomba se debe conocer el punto de funcionamiento, y además deben instalarse 2 bombas en paralelo, debido a que la instalación es grande (mayor de 50 m²) y se recomienda instalar una de reserva, para que la circulación no tenga que detenerse en caso de avería de la bomba.

Se procede haciendo el sumatorio de todas las pérdidas de carga del circuito primario, resultando el siguiente resultado:

Tabla 14. Pérdidas de carga en el circuito primario

Pérdida de carga (mmca)	
Tuberías	1.132,52
Accesorios	339,75
Captadores	73,68
Intercambiador	2.510,00
TOTAL	4.055,95

Por lo tanto se requiere de una bomba que compense esta caída de presión e impulsar todo el caudal circulante, que como se había calculado anteriormente es de 3.240 l/h. Es decir, se necesita que la bomba proporcione una altura de 4,1 mca y un caudal de 3,204 m³/h.

Se busca en el Catálogo de Wilo un modelo de bomba que se ajuste a las necesidades de la instalación, introduciendo el caudal y la altura necesaria del punto de funcionamiento en *la Figura 35* se reduce el rango de modelos de bomba entre las que se debe buscar, que serán las que tengan un diámetro de conexión de 25 o 30 mm.

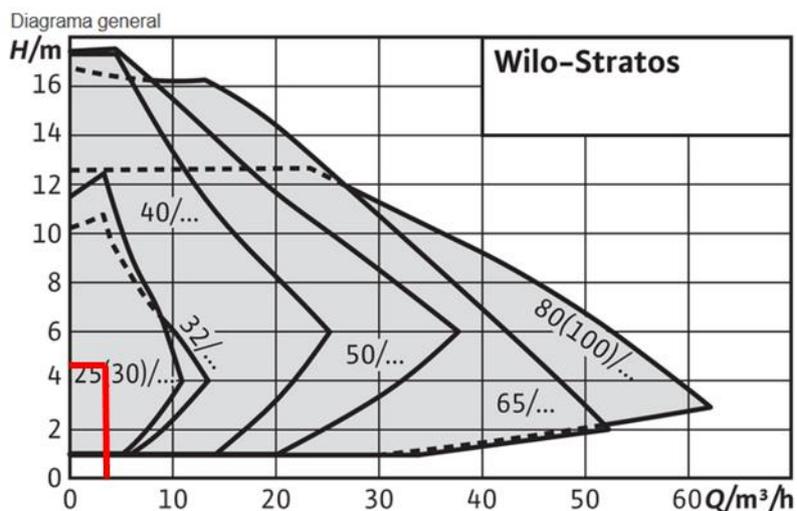


Figura 36. Diagrama H-Q de bombas Wilo-Stratos

De entre los posibles modelos de bombas el que mejor se ajusta y por tanto el elegido es el **Wilo-Stratos 30/1-8**, que muestra la siguiente curva característica:

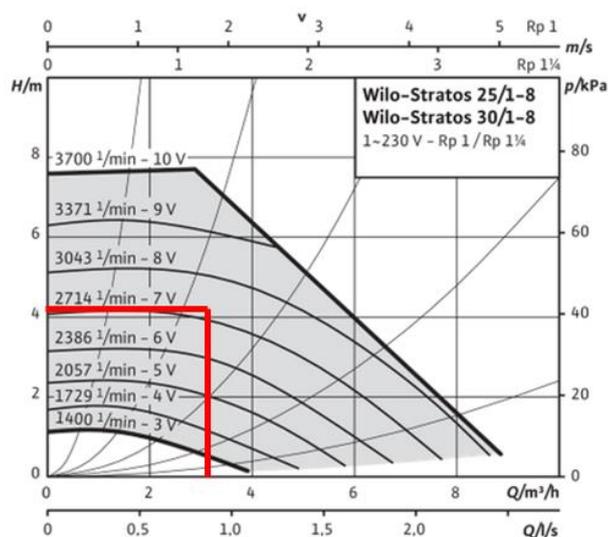


Figura 37. Curva caraterística de la bomba Wilo-Stratos 30/1-8

3.5.6 Dimensionado del vaso de expansión del circuito primario

El RITE en la instrucción técnica IT 1.3.4.2.4 dice que los circuitos cerrados de agua o soluciones acuosas estarán equipadas con un dispositivo de expansión de tipo cerrado, que permita absorber, sin dar lugar a esfuerzos mecánicos, el volumen de dilatación del fluido. Por lo tanto, **se instalará un vaso de expansión de tipo cerrado.**

El volumen del vaso de expansión viene determinado por el volumen de todo el circuito primario, por tanto se debe conocer el volumen de los captadores, del circuito hidráulico y del intercambiador. En la siguiente tabla se muestra el resultado del cálculo de estos volúmenes:

Tabla 15. Volumen del fluido del circuito primario

TRAMO	Diámetro(mm)	Longitud (m)	Volumen (litros)
1-2	38	5,72	6,49
2-3	33	23,59	20,18
2-3'	33	23,59	20,18
3-4	26	11,38	6,04
3'-4'	26	11,38	6,04
4-5	33	5,80	4,96
4'-5	33	5,80	4,96
5-6	38	5,95	6,75
TUBERIAS			75,59
BOMBA	30	0,18	0,13
CAPTADORES	26	114,72	60,91
INTERCAMBIADOR			1,94
VOLUMEN TOTAL CIRCUITO PRIMARIO (litros)			133,59

El vaso de expansión, de acuerdo a la norma UNE 100-155:2004 recomendada por el (RITE, Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, 2007), se puede realizar utilizando la ecuación:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_{pre} \quad (\text{Ec. 51})$$

Pero además se recomienda añadir a la expresión anterior el volumen contenido en los captadores y tuberías situadas por encima de la menor cota inferior de los captadores solares más de un 10% (V_{vap}), quedando entonces de la siguiente forma:

$$V_t = (V \cdot C_e + V_{vap}) \cdot C_{pre} \quad (\text{Ec. 52})$$

Donde:

V_t es el volumen total del vaso de expansión (l)

V es el volumen total del fluido en el circuito (l)

C_e es el coeficiente de expansión o dilatación del fluido

C_{pre} es el coeficiente de presión

La diferencia de cotas entre el punto más alto de la instalación y el lugar en el que se encuentra el vaso de expansión es igual a 4 m. Por tanto la presión estática es la siguiente:

$$P_{estática} = h(m) \cdot 0,1 \left(\frac{bar}{m} \right) = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ bar} \quad (\text{Ec. 53})$$

La presión mínima en el punto más alto es de 0,5 bar, a la que se le añade la presión estática, la válvula de seguridad en los captadores está tarada a 10 bar, que será la referencia de la presión máxima. Lo que nos lleva a obtener las presiones mínima y máxima:

$$P_{mín} = 0,5 \text{ bar} + P_{estática} = 0,5 + 0,4 = 0,9 \text{ bar} \quad (\text{Ec. 54})$$

$$P_{max} = P_{vs} - 2 = 10 - 2 = 8 \text{ bar} \quad (\text{Ec. 55})$$

Y con ello se define el coeficiente de presión C_{pre} :

$$C_{pre} = \frac{P_{max}+1}{P_{max}-P_{mín}} = \frac{8+1}{8-0,9} = 1,27 \quad (\text{Ec. 56})$$

V_{vap} es la suma del volumen de líquido contenido en captadores y en las tuberías situadas por encima de la menor cota inferior de los captadores.

$$\text{VOLUMEN TUBERÍA SUP} = 34,4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,026^2}{4} = 0,018 \text{ m}^3 = 18 \text{ Litros} \quad (\text{Ec. 57})$$

$$V_{VAP} = 18 + 60,91 = 78,91 \quad (\text{Ec. 58})$$

El coeficiente de expansión de una mezcla de agua con glicol viene determinado mediante la siguiente expresión:

$$C_e = 10^{-6} \cdot (3,24 \cdot t^2 + 102,13 \cdot t - 2708,3) \cdot a \cdot (1,8 \cdot t + 32)^b \quad (\text{Ec. 59})$$

$$a = -0,0134 \cdot (G^2 - 143,8 \cdot G + 1918,2) \quad (\text{Ec. 60})$$

$$b = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (G^2 - 94,57 \cdot G + 500) \quad (\text{Ec. 61})$$

Donde:

T es la temperatura máxima de la mezcla en el circuito ($^{\circ}\text{C}$)

G es el porcentaje de glicol en el circuito (% en volumen)

El rango de temperaturas máximas que se podrían alcanzar en el circuito primario para las cuales son válidas estas fórmulas entre 65 y 115°C , para ser lo más restrictivo posible se va a calcular con

la temperatura de 115°C, y respecto al porcentaje de glicol es 30% el que se había definido anteriormente.

Definidas las variables, el coeficiente de expansión resulta tener un valor de 0.066.

Finalmente se procede al cálculo del volumen del vaso de expansión:

$$V_T = (133,59 \cdot 0,066 + 78,91) \cdot 1,27 = \mathbf{111,41 \text{ litros}} \quad (\text{Ec. 62})$$

En conclusión, el vaso de expansión debe de tener como principal característica como mínimo 111 litros de capacidad. En función de este volumen mínimo se ha elegido un modelo del catálogo de Salvador Escoda, cuyo **código es SO 09 030 y el modelo 220 SMR de 200 litros** de capacidad lo que deja un margen amplio de seguridad. Además tiene una presión máxima de 10 bar que es la que se ha definido en los captadores.



SO 09 026	35 SMR-P	35	10	360x615	1"	2,5	120,75
SO 09 027	50 SMR-P	50	10	360x750	1"	2,5	141,75
SO 09 028	80 SMR-P	80	10	450x750	1"	2,5	178,50
SO 09 029	100 SMR-P	100	10	450x850	1"	2,5	280,36
SO 09 030	220 SMR	200	10	485x1400	1-1/2"	2,5	591,16
SO 09 031	350 SMR	300	10	485x1965	1-1/2"	2,5	751,81
SO 09 032	500 SMR	500	10	600x2065	1-1/2"	2,5	1.057,35
SO 09 033	700 SMR	700	10	700x2145	1-1/2"	2,5	1.781,85

Figura 38. Catálogo Vaso de expansión 1º

3.6 DIMENSIONADO DEL CIRCUITO SECUNDARIO

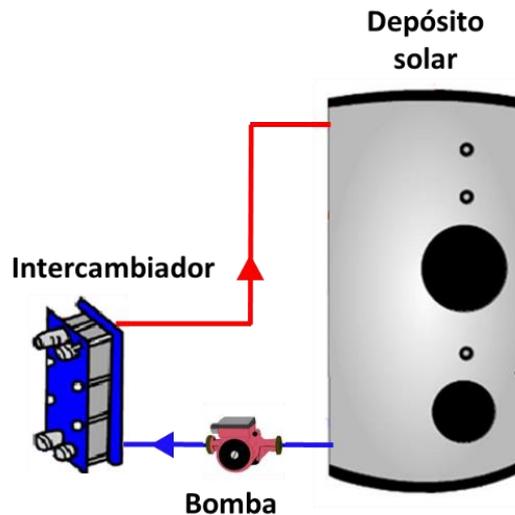


Figura 39. Esquema circuito secundario

Es el circuito de conexión entre el intercambiador y el acumulador, que se encuentran en el interior de la sala de máquinas.

La longitud de este tramo es mucho más corta que la del resto de circuitos, es de 3 metros en el tramo de salida del intercambiador y entrada al acumulador (IDA), y 2 metros en el tramo de salida del acumulador y entrada al intercambiador (RETORNO).

El caudal que circula por este circuito va a ser alrededor de un 10% superior al del circuito primario, pero para marcar un valor exacto se va a coger el que corresponde con la pérdida de carga máxima del intercambiador, que siendo 3 el límite corresponde con 3500 l/h como se marca en la ficha técnica, es decir que se tiene un caudal del 9,24% superior al del circuito primario.

3.6.1 Fluido caloportador

Puesto que el circuito secundario se encuentra protegido en el interior de una sala, no hay que tener en cuenta el riesgo de congelación ni ebullición. Esto conlleva a poder usar agua de red sin anticongelante, lo que beneficia al proceso de transporte de calor.

Las propiedades del agua son las siguientes:

- La densidad es de 1 g/cm^3
- El calor específico es de $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ o lo que es lo mismo $4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- La viscosidad es de 0,4 centipoises

3.6.2 Cálculo de pérdidas de carga en tuberías y accesorios (secundario)

Se repite el mismo procedimiento que en el apartado '3.5.2. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS DEL CIRCUITO PRIMARIO', y además este tramo de tubería tiene las mismas características, excepto las longitudes, que los tramos 1-2 y 5-6 expuestos en dicho apartado. Pero en este caso el fluido utilizado es solo agua, por lo que el factor corrector k_2 es 1, y

respecto al factor k_1 se va a considerar 1 también porque la temperatura del fluido va a estar entre 50 y 55°C y así lo indicaba la Tabla 12. Lo cual quiere decir que no hay que aplicar corrección al valor de la pérdida de carga en la Figura 38 que se muestra a continuación:

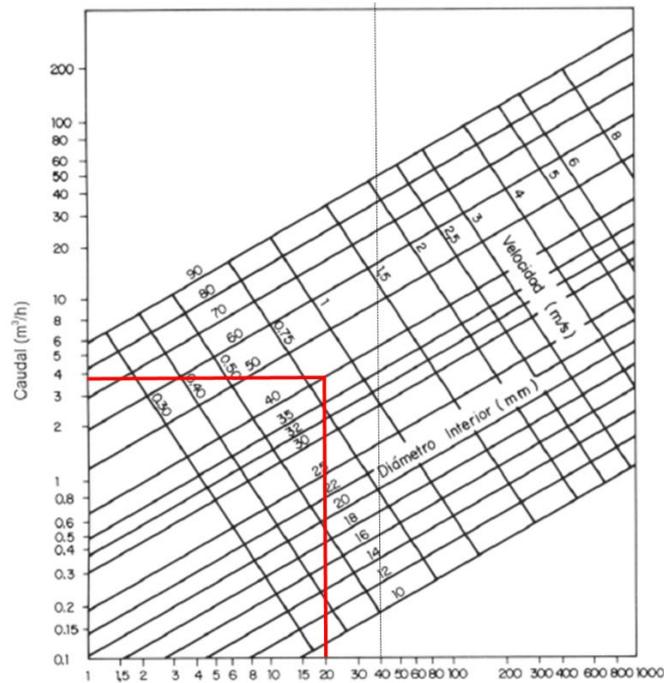


Figura 40. Pérdida por rozamiento (mm c.a. por m) para tubería de cobre, (circuito secundario)

Una vez preseleccionado el diámetro de tubería se comprueba en un catálogo de tubos de cobre los diámetros interiores comerciales, coincidiendo este de 40 mm con uno de ellos. Obtenido los datos del diámetro y la velocidad, el resultado de la pérdida de carga en el circuito secundario es el siguiente:

Tabla 16. Pérdidas de carga en las tuberías del circuito secundario

TRAMO	CAUDAL (l/h)	D int. (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	j GRAFICO (mmca/m)	Pérdida de carga (mmca)
IDA	3.844,8	40	0,85	6	20	120,00
RETORNO	3.844,8	40	0,85	3	20	60,00
TOTAL PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS CIRCUITO SECUNDARIO						180,00

Se considera de nuevo que las pérdidas de carga en los accesorios suponen el 30% de las pérdidas en tuberías. Dado que el valor de las pérdidas de carga en las tuberías es de 180 mmca, el valor en los accesorios se determina de la siguiente forma:

$$h_{acc2} = 180 * 0,3 = 54 \text{ mmca} \quad (\text{Ec. 63})$$

3.6.3 Cálculo de pérdidas de carga del intercambiador (secundario)

En el apartado 3.5.4 se ha calcula la pérdida de carga del circuito primario, y ahora se hace lo mismo con el secundario. Mediante la misma constante de pérdidas 'k' se calcula la pérdida de carga para el caudal de este circuito mediante la siguiente expresión:

$$h_m = K \cdot Q^2 \quad (\text{Ec. 64})$$

$$h_{m2} = 2,45 \cdot 10^{-7} \cdot 3500^2 = 3 \text{ mca} \quad (\text{Ec. 65})$$

3.6.4 Cálculo de bomba del secundario

Se dispondrá de dos bombas en paralelo de iguales dimensiones, lo cual es necesario al tratarse de una instalación con más de 50 m² de superficie de captación. La pérdida de carga que se debe tener en cuenta para el dimensionado de la bomba es la expresada a continuación:

Tabla 17. Pérdidas de carga en las tuberías del circuito secundario

Pérdida de carga (mmca)	
Tuberías	180
Accesorios	54
Intercambiador	3.000
TOTAL	3.234

Se necesita que cada bomba sea capaz de vencer una altura de 3,23 mca y un caudal de 3,50 m³/h

Finalmente se ha seleccionado el modelo **Wilo-Stratos 30/1-6**

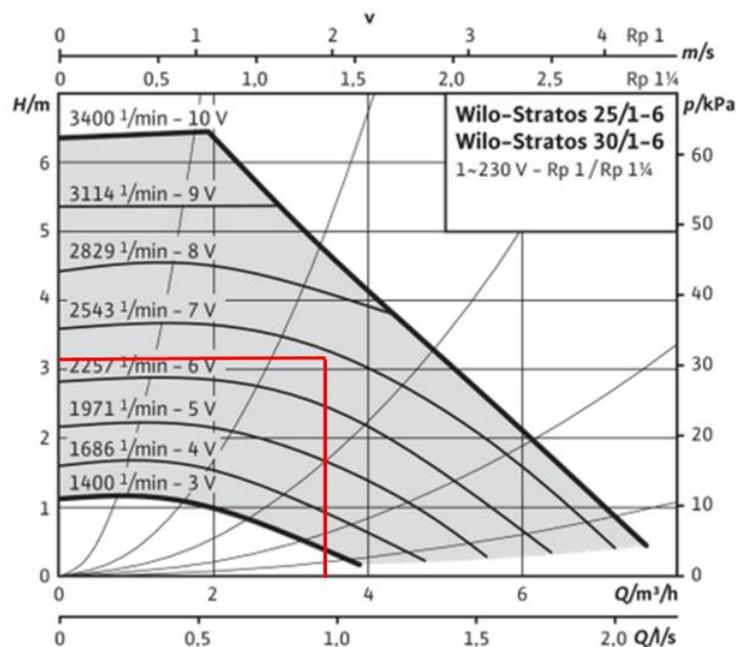


Figura 41. Curva característica de la bomba Wilo-Stratos 30/1-6

3.6.5 Dimensionado vaso de expansión secundario

El volumen del vaso de expansión secundario viene determinado por el volumen del circuito secundario junto con el acumulador y el interacumulador del sistema de apoyo. En la siguiente tabla se muestra el resultado del cálculo de estos volúmenes:

Tabla 18. Volumen del fluido del circuito secundario

TRAMO	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Volumen (litros)
IDA (intercam-interacum)	38	6	6,80
RETORNO (acum-intercam)	38	3	3,40
BOMBA	30	0,18	0,13
INTERACAMBIADOR			1,93
ACUMULADOR			4.000
INTERACUMULADOR			2.500
VOLUMEN TOTAL CIRCUITO VASO EXP SECUNDARIO (litros)			6.512,26

Presión manométrica mínima o presión de llenado del circuito debe ser lo suficientemente elevada para evitar entrada de aire en el circuito, siendo la presión de llenado 1,5 y la presión estática nula:

$$P_{\min} = 1,5 \text{ bar} + P_{\text{estatica}} = 1,5 + 0 = 1,5 \text{ bar} \quad (\text{Ec. 66})$$

La válvula de seguridad está tarada en 4 bar, que es la presión máxima del sistema, y con un rango de seguridad la presión máxima es la siguiente:

$$P_{\max} = P_{vs} - 0,3 = 4 - 0,3 = 3,7 \text{ bar} \quad (\text{Ec. 67})$$

Y con ello se define el coeficiente de presión C_{pre} :

$$C_{pre} = \frac{P_{\max}+1}{P_{\max}-P_{\min}} = \frac{3,7+1}{3,7-1,5} = 2,14 \quad (\text{Ec. 68})$$

El coeficiente de expansión del agua se define con la siguiente expresión:

$$C_e = 10^{-6}(3,24 \cdot t^2 + 102,13 \cdot t - 2708,3) \quad (\text{Ec. 69})$$

Donde:

t; es la temperatura máxima de la mezcla en el circuito, en este caso el sistema va a alcanzar como mucho 70°C debido a la protección anti-legionela.

Resultando por tanto:

$$C_e = 0,02 \quad (\text{Ec. 70})$$

Finalmente el volumen del vaso de expansión se calcula con la siguiente expresión:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_{pre} = 6512,26 \cdot 0,02 \cdot 2,14 = 278,72 \text{ litros} \quad (\text{Ec. 71})$$

Es decir, el vaso de expansión debe de tener como principal un mínimo 279 litros de capacidad. Por ello se ha elegido un modelo del catálogo de Salvador Escoda, cuyo **código es SO 09 031 y el modelo 350 SMR de 300 litros.**



SO 09 026	35 SMR-P	35	10	360x615	1"	2,5	120,75
SO 09 027	50 SMR-P	50	10	360x750	1"	2,5	141,75
SO 09 028	80 SMR-P	80	10	450x750	1"	2,5	178,50
SO 09 029	100 SMR-P	100	10	450x850	1"	2,5	280,36
SO 09 030	220 SMR	200	10	485x1400	1-1/2"	2,5	591,16
SO 09 031	350 SMR	300	10	485x1965	1-1/2"	2,5	751,81
SO 09 032	500 SMR	500	10	600x2065	1-1/2"	2,5	1.057,35
SO 09 033	700 SMR	700	10	700x2145	1-1/2"	2,5	1.781,85

Figura 42. Catálogo Vaso de expansión 2º

3.7 DIMENSIONADO DISTRIBUCIÓN A SUBESTACIONES

3.7.1 Fluido caloportador

El circuito de distribución parte a raíz del circuito secundario, siendo el mismo fluido el que circula por ellos, y como ya se había descrito en el apartado 3.6.1 se trata de agua potable, que es la que va a ser enviada hasta los puntos de consumo a los usuarios.

Las propiedades del agua son las siguientes:

- La densidad es de 1 g/cm^3
- El calor específico es de $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ o lo que es lo mismo $4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- La viscosidad es de 0,4 centipoises

3.7.2 Cálculo de las tuberías de distribución

En primer lugar se procede al cálculo del caudal instantáneo mínimo de ACS mediante la figura proporcionada por el documento DB HE-4.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinaris con grifo temporizado	0,15	-
Urinaris con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Figura 43. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato.

Se realiza el cálculo del caudal necesario de agua caliente sanitaria para cada vivienda. Para ello se contabilizan los caudales mínimos de cada elemento de consumo de ACS, y para los tres tipos de vivienda:

Tabla 19. Caudal instantáneo mínimo de ACS por planta, tipo y edificio (l/s)

Tipo de habitáculo	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	Tipos de aparatos	Caudal (l/s)	Tipos de aparatos	Caudal (l/s)	Tipos de aparatos	Caudal (l/s)
Baño	bañera, bidé, lavabo	0,330	bañera, bidé, 2 lavabos	0,395	2 bañeras, 2 bidés, 3 lavabos	0,725
Aseo	ducha, lavabo	0,165	ducha, lavabo	0,165	lavabo	0,065
Cocina	fregadero	0,100	fregadero	0,100	fregadero	0,100
Galería	lavadero	0,100	lavadero	0,100	lavadero	0,100
TOTAL TIPO	0,695 l/s		0,760 l/s		0,990 l/s	
TOTAL PLANTA	4,89 l/s					
TOTAL EDIFICIO	24,45 l/s					

Una vez calculado el caudal instalado se procede a calcular el caudal punta de cada una de las tres tipologías de viviendas.

$$Q_{PUNTA} \left(\frac{l}{s} \right) = k_{simultáneo} \cdot Q_{instalado} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \cdot Q_{instalado} \quad (\text{Ec. 72})$$

Donde, n es el número de aparatos de la vivienda y $k_{simultáneo} \geq 0,25$

Por lo tanto para las distintas tipologías de vivienda se calcula el caudal punta:

$$Q_{PUNTA TIPOLOGÍA A} = \frac{1}{\sqrt{7-1}} \cdot 0,695 = 0,28 \text{ l/s} = 1,008 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{Ec. 73})$$

$$Q_{PUNTA TIPOLOGÍA B} = \frac{1}{\sqrt{8-1}} \cdot 0,76 = 0,28 \text{ l/s} = 1,008 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{Ec. 74})$$

$$Q_{PUNTA TIPOLOGÍA C} = \frac{1}{\sqrt{10-1}} \cdot 0,99 = 0,33 \text{ l/s} = 1,188 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{Ec. 75})$$

Para obtener el caudal punta de un conjunto de viviendas se aplica el factor de simultaneidad que se muestra a continuación:

$$Q_{PUNTA} \left(\frac{l}{s} \right) = \frac{19+N}{10 \cdot (N+1)} \cdot \sum Q_{PUNTA VIVIENDAS} \quad (\text{Ec. 76})$$

Con ello, se procede a calcular el caudal total que se tiene para cada vivienda y el total del edificio:

$$Q_{PUNTA PLANTA} = \frac{19+6}{10 \cdot (6+1)} \cdot (2 \cdot 0,28 + 2 \cdot 0,28 + 2 \cdot 0,33) = 0,64 \text{ l/s} = 2,304 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{Ec. 77})$$

$$Q_{PUNTA EDIF.} = \frac{19+30}{10 \cdot (30+1)} \cdot (10 \cdot 0,28 + 10 \cdot 0,28 + 10 \cdot 0,33) = 1,40 \text{ l/s} = 5,04 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{Ec. 78})$$

3.7.3 Pérdida de carga de los circuitos de distribución y consumo

Una vez calculados los caudales punta, se pueden obtener el resto de parámetros de la tubería de la res de distribución mediante la Figura 42. Considerando que la velocidad media debe estar entre 0,5 y 2 m/s como se dice en el documento DB HE-4, en este caso se selecciona una velocidad de 0,8 m/s que es la que generalmente se tiene en este tipo de instalaciones.

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

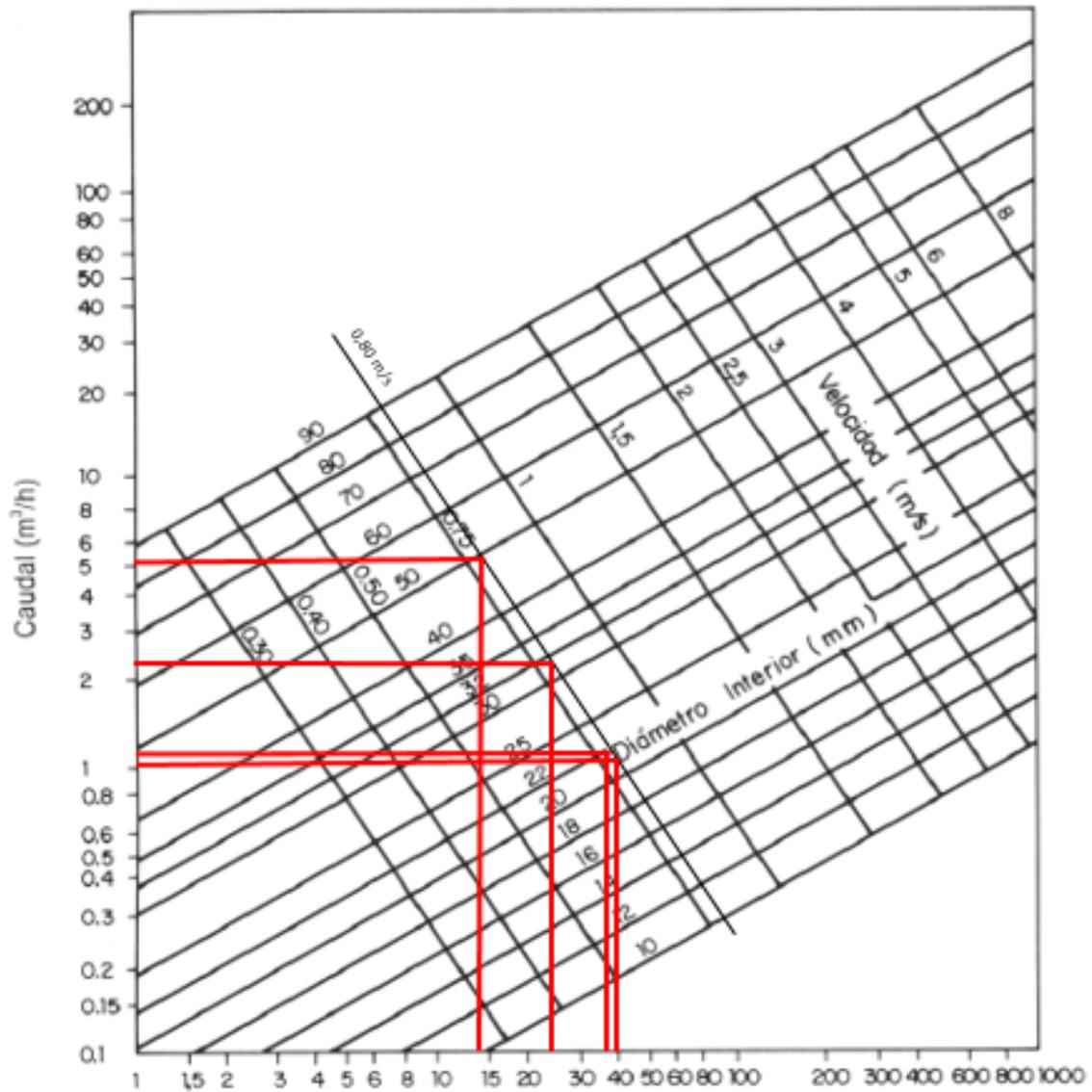


Figura 44. Pérdida por rozamiento (mm c.a. por m) para tubería de cobre, (circuito secundario)

Teniendo en cuenta los diámetros comerciales se han seleccionado los siguientes para cada tramo:

Tabla 20. Cálculo pérdida de caga circuito de distribución.

TRAMOS	Caudal (l/h)	Dint (mm)	Longitud (m)	Pérd. unitaria (mmca/m)	Pérd. carga (mmca)
VIVIENDA A	1.010	26	20,00	40	800,00
VIVIENDA B	1.010	26	20,00	40	800,00
VIVIENTA C	1.190	26	20,00	37	740,00
PLANTA	2.300	33	17,50	25	437,50
ALA DCHA.	1.150	26	125,00	36	4500,00
ALA IZQ.	1.150	26	180,00	36	6480,00
DISTRIB. EDIFICIO	5.040	52	15,15	14	212,10
TOTAL PÉRDIDA DE CARGA CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN (mmca)					13.969,60

3.7.4 Circuito de recirculación

En instalaciones con circuitos de distribución muy largos, como es el caso, se recomienda instalar un circuito de recirculación. Concretamente, en el documento DB HE-4, indica que cuando la longitud de la tubería de ida al punto de consumo más alejado sea igual o mayor a 15 metros se debe instalar una tubería de retorno para la recirculación del agua. Este circuito permite disponer de agua caliente al instante en cualquier vivienda, además de evitar que se pueda producir sobrecalentamiento en el sistema.

Pero para no interferir en el funcionamiento de la instalación solar se dispone de una válvula de tres vías, de forma que la recirculación se realiza sobre el acumulador auxiliar cuando el sistema de apoyo está en funcionamiento. En cambio, cuando el sistema de apoyo no está activo la recirculación se puede realizar sobre el acumulador solar actuando sobre la válvula.

El circuito de recirculación circula por el pasillo del acceso de las viviendas, de forma que se cumple la condición de los 15 metros hasta el punto de consumo más alejado. Tras salir de cada planta descende, y cuando llega a la parte más baja del edificio asciende y llega a la válvula que une el acumulador y el interacumulador.

El tramo de caudal que circula por los pasillos corresponde con los tramos de planta derecha e izquierda nombrados en la Tabla 20, debido a que realiza la labor de suministro y recirculación.

Para la recirculación principal se dimensiona según recomendación de la guía técnica (ACS, 2010), que dice que el caudal que se recircula debe ser un 10% superior al del agua de alimentación, como mínimo. En este caso se va a recircular un caudal mayor para que sea más exigente, que va a ser, para la tubería ascendente de todo el edificio, el 15% del caudal punta total del edificio, es decir que el caudal de recirculación será el 15% de $5,04 \text{ m}^3/h$ que corresponde con el valor de $0,756 \text{ m}^3/h$.

Introduciendo dicho caudal en la Figura 42 expuesta anteriormente, con una velocidad de $0,8 \text{ m/s}$ el diámetro que debe tener esta tubería es de 18 mm , la cual cumple con el mínimo de 16 mm exigible para la tubería de retorno citado por el DB HE-4, pero el diámetro comercial será de 20 mm .

3.8 AISLAMIENTO EN LAS CONDUCCIONES

El aislamiento en las conducciones es necesario para reducir tanto como sea posible las pérdidas de calor y mantener la temperatura del agua calentada por el sol. Pero por otro lado, los tubos suelen ponerse muy calientes, especialmente si el sistema está parado, por lo que es necesario que el aislamiento de los tubos pueda soportar temperaturas de hasta 150° C .

Para decidir el espesor de aislamiento mínimo se deben consultar la normativa del RITE (2007), en la que se tienen unas tablas que relacionan el diámetro exterior de tubería y la temperatura de trabajo con el espesor mínimo, diferenciando además entre tuberías exteriores e interiores, dichas tablas se adjuntan a continuación.

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
D ≤ 35	25	25	30
35 < D ≤ 60	30	30	40
60 < D ≤ 90	30	30	40
90 < D ≤ 140	30	40	50
140 < D	35	40	50

Figura 45. Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías en interior de edificios

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
D ≤ 35	35	35	40
35 < D ≤ 60	40	40	50
60 < D ≤ 90	40	40	50
90 < D ≤ 140	40	50	60
140 < D	45	50	60

Figura 46. Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías en exterior de edificios

Se hace una recopilación de todos los datos de tuberías necesarios y se define el espesor de aislante necesario para cumplir con el RITE y tener un buen aislamiento en el sistema.

Tabla 21. Espesores de aislamiento en tuberías

TRAMOS	Dint (mm)	Dext (mm)	TUBERÍA (ext o int)	Tª MAX (°C)	ESPESOR (mm)
CIRCUITO PRIMARIO					
1-2	38	40	Ext	55	40
2-3	33	35	Ext	55	35
2-3'	33	35	Ext	65	35
3-4	26	28	Ext	65	35
3'-4'	26	28	Ext	65	35
4-5	33	35	Ext	65	35
4'-5	33	35	Ext	65	35
5-6	38	40	Ext	65	40
CIRCUITO SECUNDARIO+EQUIPO AUXILIAR					
IDA	40	42	Int	70	30
RETORNO	40	42	Int	70	30
CIRCUITO DISTRIBUCIÓN A VIVIENDAS					
VIVIENDA A	26	28	Int	60	25
VIVIENDA B	26	28	Int	60	25
VIVIENTA C	26	28	Int	60	25
PLANTA	33	35	Int	60	25
PLANTA DCHA	26	28	Int	60	25
PLANTA IZQ	26	28	Int	60	25
EDIFICIO	52	54	Int	60	30
CIRCUITO RECIRCULACIÓN	26	28	Int	60	25
OTROS COMPONENTES					
ACUMULADOR	1600	1700	Int	70	40
INTERACUMULADOR	1300	1400	Int	70	40

Se ha seleccionado como aislante espuma de poliuretano, la cual se caracteriza por tener una alta eficiencia como aislante térmico debido a su bajo coeficiente de transmisión del calor, gran flexibilidad por lo que es fácil de colocar, ligereza de peso, además de ser ecológico.

Las características del aislante serán por tanto:

- Coeficiente de conductividad térmica de 0,023 W/m·K
- Escala de temperatura para tubos: -170 a 110° C

3.9 PROTECCIÓN CONTRA LA LEGIONELOSIS

La *Legionella* es una bacteria que se desarrolla en temperaturas entre 20 y 45°C, y algunas especies pueden infectar a humanos, denominándose a dicha infección legionelosis. Por ello el RD 865/2003 del 4 de Julio (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2003), establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

Además las instalaciones de producción de ACS con acumulación y recirculación son instalaciones del grupo 1; es decir, de mayor riesgo. Para combatir la reproducción de la bacteria se establecen unas condiciones de funcionamiento habituales que son:

- El agua debe ser acumulada a una temperatura de al menos 60°C.
- Se deben asegurar los 50°C en los puntos más alejados.
- La instalación permitirá que el agua alcance los 70°C.
- La temperatura del agua fría se debe mantener lo más baja posible procurando una temperatura inferior a los 20°C.
- Disponer sistemas de filtración, y sistemas de válvulas de retención que evite retornos de agua por pérdidas de presión.
- Facilitar la accesibilidad a los equipos para su inspección, limpieza y desinfección.

Para cumplir con estas condiciones se ha dotado a la instalación de un circuito anti-legionelosis, haciendo posible que en cualquier punto del circuito de consumo se alcance la temperatura necesaria para acabar con la bacteria y conseguir que el suministro sea totalmente salubre. En la que se dispone de un circuito que consta de una tubería que va desde la salida del interacumulador hasta una entrada inferior del intercambiador, una bomba que permite la circulación del fluido y una válvula de tres vías conectada en la toma de la tubería para controlar cuando sea necesario el desvío del caudal de consumo al acumulador solar.

Mediante esta configuración, se debe mantener de forma continua una temperatura de 60°C en el interacumulador del sistema de apoyo, y por tanto esta será la temperatura de salida hacia el suministro a las viviendas, además para proteger el acumulador solar, se enviará agua caliente desde la salida del sistema de apoyo hacia el acumulador solar de forma que se puedan conseguir temperaturas del orden de 70°C en dicho acumulador tal como marca la normativa.

Esta medida nos lleva a una reducción de la producción solar del 15%, un aumento del combustible del 15% y un aumento de la inversión del mismo valor.

3.10 SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL

Para conseguir que el fluido se ponga en marcha cuando sea necesario, hace falta instalar un sistema de regulación que permita poner en marcha las bombas cuando se den unas condiciones necesarias.

Lo que se propone es un sistema que se basa en diferenciales de temperaturas. El sistema mide la temperatura a la salida del captador (T1), y la temperatura media del acumulador (T2), de modo que cuando T1 es mayor que T2 más un cierto valor de consigna, que generalmente será de 7°C, el sistema acciona las bomba del circuito primario, con lo cual el fluido comienza a circular de nuevo y el agua caliente de los captadores pasa al intercambiador y posteriormente al acumulador.

Para llevar a cabo dicho control la instalación se selecciona el sistema de regulación y control **RESOL DeltaSol CS/4 del fabricante Salvador Escoda**, con 3 sistemas básicos + 3 sondas Pt 1000. Se muestra la imagen a continuación:



Figura 47. Modelo del sistema de regulación y control

Se adjunta ficha técnica en el ANEXO I.

3.11 ELEMENTOS DE SEGURIDAD

3.11.1 Disipador de energía dinámico

Según el código técnico de la edificación (CTE), y el pliego de condiciones técnicas del IDAE, se debe dotar a la instalación de algún elemento de protección frente a sobrecalentamientos producidos por altas radiaciones solares prolongadas o baja demanda. Por ello se decide instalar en el circuito primario un disipador de energía dinámico con el fin de disipar la potencia en estos periodos para controlar que la temperatura del fluido no aumente sin control.

Dicho dissipador dinámico se instalará a la salida de los captadores, y está dotada de una válvula de tres vías, la cual se encargará de desviar el fluido caloportador hacia el dissipador cuando el sistema de monitorización detecte que la temperatura del fluido a la salida de los captadores alcance un valor fijado próximo a los 100°C.

3.11.2 Válvulas.

3.11.2.1 Válvulas de cierre.

Con la finalidad de aislar partes del circuito para su mantenimiento y reparación, se instalarán válvulas de cierre a cada una de las entradas y salidas de baterías de captadores, de bombas, vaso de expansión, dissipador de energía, y una válvula en las canalizaciones de llenado y vaciado. En general, se instalarán las válvulas necesarias para aislar todos los elementos de forma que puedan ser substituidos en caso de avería.

3.11.2.2 Válvulas de seguridad.

Según dice el RITE, los circuitos cerrados con fluidos calientes dispondrán de una o más válvulas de seguridad. Por lo tanto se instalarán una válvula de seguridad para cada salida de la batería de captadores.

3.11.2.3 Válvula antirretorno.

Según el pliego de condiciones técnicas del IDAE, la instalación debe de contar con los elementos necesarios para prevenir flujos inversos. Por este motivo se instalarán válvulas antirretorno a la salida de cada una de las bombas. También se instalarán válvulas antirretorno en cada una de las canalizaciones de llenado de los circuitos cerrados.

3.11.2.4 Válvula multiuso.

Según la normativa del RITE, los circuitos se deben diseñar de forma que se puedan llenar total o parcialmente. Es por ello que *se instalarán dos válvulas multiuso, una para el llenado y otro para el vaciado*. Dichas válvulas también incorporan la función de purga, y se instalarán en la parte baja del circuito.

3.11.2.5 Purgadores.

Siguiendo las recomendaciones del pliego de condiciones técnicas del IDAE, en los puntos altos de la salida de las baterías de captadores solares y en otros puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se instalarán sistemas de purga, compuestos por botellines de desaireación y purgador manual.

3.11.2.6 Válvulas de equilibrado.

Se instalará una válvula de equilibrado a la entrada de cada uno de los dos grupos de captadores solares (formado por dos filas de captadores), con el fin de asegurar que el caudal se reparte entre las diferentes baterías de la forma correcta.

3.11.2.7 Válvulas de tres vías.

Se instalarán una válvula de este tipo en todas las intersecciones de tres tomas de tuberías, con el fin de dirigir la dirección del fluido según convenga, pudiendo también mezclar o separar fluidos a distinta temperatura de dos procedencias diferentes.

3.11.3 Equipos de medida.

Se instalarán termómetros en la impulsión y retorno de la bomba, así como a la entrada y salida del intercambiador de calor, y a la entrada y salida del acumulador. Se necesitará otro además para medir la temperatura del fluido a la salida del campo de captadores solares.

Se instalarán manómetros en el vaso de expansión, a la entrada y salida del intercambiador, y un manómetro para medir la diferencia de presión entre aspiración y descarga de la bomba.

Se instalarán contadores, uno para cada vivienda, para el agua fría en la entrada de red de agua, en la parte inferior del edificio. Y además se instalarán contadores de agua caliente en la entrada de agua caliente sanitaria de cada una de las viviendas, para controlar así el consumo de agua caliente sanitaria, con los que se calculará el precio, por vivienda, del consumo energético de ACS

.

4 COMPROBACIÓN Y CERTIFICADO PROPORCIONADO POR EL CHEQ.4

Tras realizar el dimensionado de la instalación de energía solar térmica en el edificio de viviendas para el suministro de ACS, se debe comprobar que con las características de diseño establecidas se cumple con las exigencias que el Código Técnico de la Edificación define en el DB HE-4, que principalmente son las se enumeran a continuación:

- $50 < \text{Volumen Acumulación} / \text{Área captación} < 180$
- Cumplir con la contribución solar mínima para la Zona Climática en la que se trabaja, en este caso al ser la Zona V se exige un 60 %
- Ningún mes con contribución solar puede ser superior al 110%
- No puede haber más de 3 meses con contribución solar superior al 100%

Además, internamente el programa CHEQ4 calcula las pérdidas de la instalación en función de la configuración que se ha establecido y del resto de parámetros de diseño que se han introducido, por lo tanto se produce una simulación con bastante detalle que muestra unos resultados lo suficientemente reales como para saber cómo va a trabajar. Obteniendo datos de fracción solar, consumos energéticos y reducción de CO₂, y lo más importante valorando si la instalación cumple o no cumple con los requisitos establecidos.

Como se muestra en la Figura 47 el resultado para la simulación de la instalación diseñada en el presente proyecto es positivo, cumpliendo con las exigencias del CTE, y obteniendo una fracción solar de 64 % superando en un 4% la mínima exigida. Lo que quiere decir que se ha realizado un correcto dimensionado de la instalación.

Por otro lado, se observa que la demanda neta tiene un valor de 62.512 kWh y la demanda bruta de 100.835 kWh, la cual incluye las pérdidas en acumulación y distribución, siendo por tanto las pérdidas de un 38% y el rendimiento un 62%, requiriendo por ello de mayor demanda energética. Teniendo en cuenta la demanda bruta, que es la que realmente se debe cubrir, se aplica el

porcentaje de fracción solar obtenido y se concluye que se requieren 64.885 kWh de aporte solar y 38.465 kWh de consumo auxiliar.

También se obtiene el dato de reducción de CO2 de 14.006 kg, que se analizará más detalladamente en el apartado 5 ESTUDIO DE VIABILIDAD AMBIENTAL.

A continuación se muestra en la Figura 47 el resultado de la simulación y en el ANEXO III se muestran los pasos a seguir con el programa, mostrando los datos y características del sistema que se han tenido que introducir, para llegar a este resultado final. Todos ellos dimensionados mediante el desarrollo de la memoria.

Además se adjunta en el mismo anexo el certificado que proporciona el CHEQ4, por cumplir con los requerimientos exigidos por el DB HE-4, en el que se muestra un resumen de la instalación.

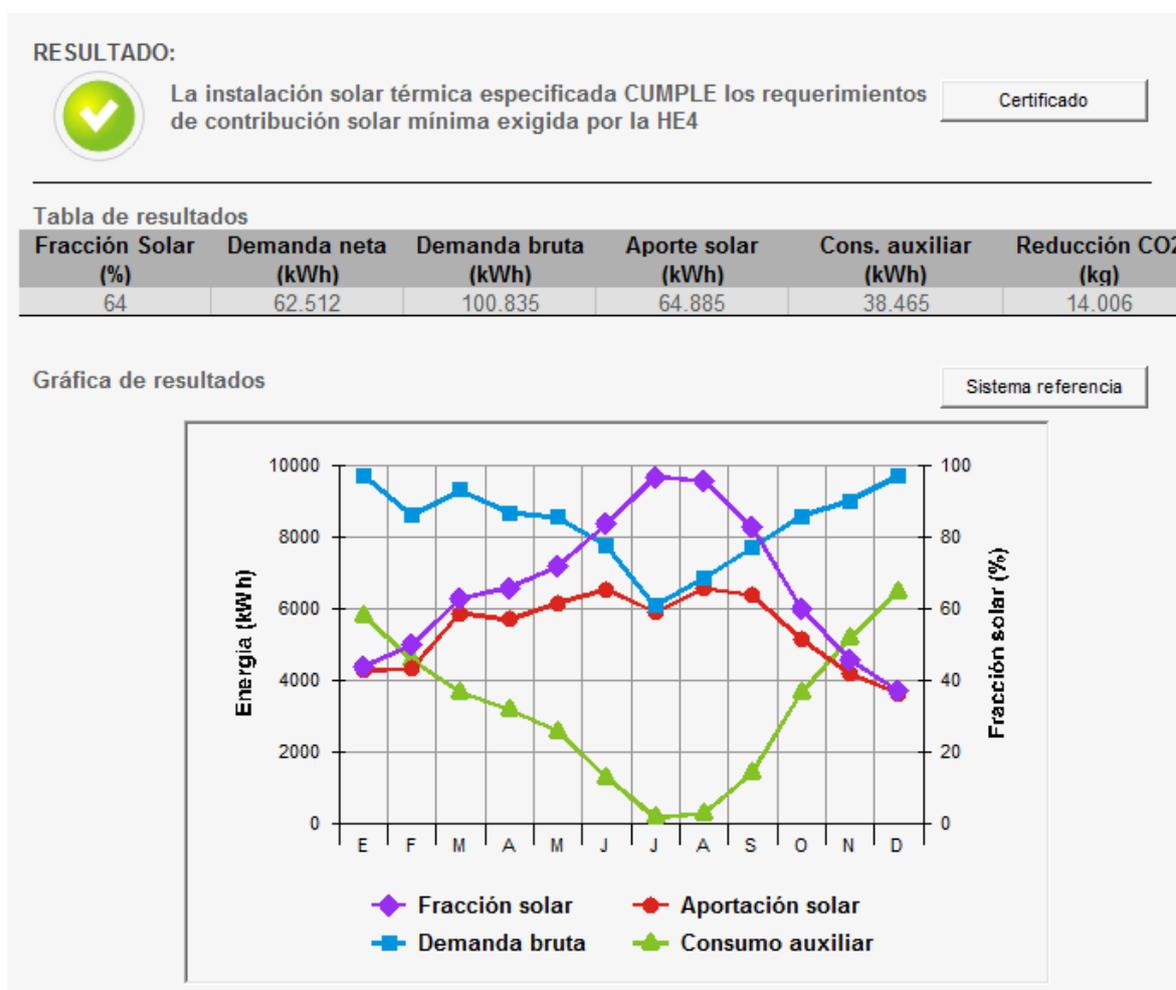


Figura 48. Resultado de la simulación de la instalación con el programa CHEQ4

Atendiendo al gráfico mostrado se analiza el significado y la evolución de cada una de las curvas:

- Fracción solar (%), representa la fracción entre los valores mensuales de la energía solar aportada y la demanda energética. En los meses más fríos se reduce en torno al 40% debido a que el aporte solar es menor, y en los meses más cálidos se obtiene casi el 100 % debido a que el aporte solar se iguala con la demanda energética.
- Aportación solar (kWh), representa la energía solar que aporta la instalación por cada mes. Se puede observar que en los meses fríos es mínima y en los meses de verano es donde mayor energía se aporta, a excepción del mes de julio, que al tener menor ocupación se reduce, aunque poco, este aporte solar.
- Consumo auxiliar (kWh), se trata de la energía aportada por el sistema auxiliar de apoyo para alcanzar la demanda total. Por lo tanto va en dirección opuesta a la fracción y aportación solar. Cuando la fracción solar es cercana al 100%, este consumo es casi nulo.
- Demanda bruta (kWh), muestra la demanda energética mes a mes, teniendo en cuenta las pérdidas de distribución y acumulación. Esta curva marca de cierta forma la evolución del resto de parámetros, puesto que en los meses fríos se requiere más energía pero no hay suficiente aporte solar se tiene mayor necesidad de un consumo auxiliar, y sucede al contrario en los meses cálidos, que se requiere menos energía y hay mayor aporte solar, lo que afecta en una reducción del consumo auxiliar.

5 VIABILIDAD DEL PROYECTO

5.1 ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

La viabilidad económica se desarrolla en el DOCUMENTO II. PRESUPUESTO, debido a que a raíz del presupuesto del proyecto se concluye la rentabilidad del mismo.

5.2 ESTUDIO DE VIABILIDAD AMBIENTAL

En el presente apartado se evaluará la viabilidad ambiental del proyecto a través de un análisis del ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello se compararán las emisiones de dióxido de carbono equivalente de dos situaciones, que se son el abastecimiento de agua caliente sanitaria en el edificio objeto del proyecto con instalación solar térmica y sin ella, valorando las emisiones de más que conlleva la instalación sin aporte solar.

5.2.1 Energía aportada por los diferentes sistemas de la instalación

Se presenta a continuación una tabla con la demanda energética mensual en MJ y en KW·h, es decir la energía necesaria para distribuir el agua caliente sanitaria a los diferentes puntos de consumo. Los detalles de cálculo fueron explicados en el apartado 3.1.2.

Como se puede observar en la Tabla 22 la demanda energética anual es de 62.512,23 kWh/año coincidiendo con la demanda neta obtenida del CHEQ4, que con las pérdidas de distribución y acumulación se tiene una demanda bruta de 100.835 kWh/año, mostrada en el apartado 4, siendo ésta la energía que se debe aportar.

Tabla 22. Demanda energética, Aporte solar y Consumo auxiliar (kWh) (sin pérdidas)

MESES	DEMANDA ENERGÉTICA	
	MJ/mes	kWh/mes
Enero	21.769,44	6.047,07
Febrero	19.269,47	5.352,63
Marzo	20.898,66	5.805,18
Abril	19.381,82	5.383,84
Mayo	19.157,11	5.321,42
Junio	17.275,10	4.798,64
Julio	13.584,13	3.773,37
Agosto	15.282,15	4.245,04
Sept.	17.275,10	4.798,64
Oct.	19.157,11	5.321,42
Nov.	20.224,51	5.617,92
Dic.	21.769,44	6.047,07
DEMANDA ENERGÉTICA Anual	225.044,04	62.512,23

De toda esta energía necesaria para elevar la temperatura del agua de red a la temperatura de consumo, se sabe de los resultados obtenidos en el CHEQ.4, que el 64% es suministrado por la instalación solar, y el 36% restante es suministrado por el sistema de apoyo auxiliar.

Dado que en los datos mensuales mostrados en la Tabla 22 no se tenía en cuenta el 38% de pérdidas de distribución y acumulación, se vuelven a calcular con estas pérdidas para obtener la demanda bruta mensual, y así poder calcular también el aporte auxiliar mensual. Con el fin de estudiar posteriormente las emisiones de CO2 mensuales.

A continuación se muestran los resultados mensuales de demanda bruta y aportes solar y auxiliar, expuestos en la Tabla X.

Tabla 23. Demanda energética, Aporte solar y Consumo auxiliar (kWh) (con pérdidas)

MESES	DEMANDA ENERGÉTICA BRUTA (kWh)	APORTE SOLAR (kWh)	CONSUMO AUXILIAR (kWh)
	Kwh/mes	Kwh/mes	Kwh/mes
Enero	9754,23	6276,621	3720,89
Febrero	8634,06	5555,82	3293,59
Marzo	9364,05	6025,549	3572,05
Abril	8684,40	5588,214	3312,79
Mayo	8583,72	5523,425	3274,39
Junio	7740,45	4980,8	2952,71
Julio	6086,64	3916,61	2321,84
Agosto	6847,46	4406,185	2612,07
Septiembre	7740,45	4980,8	2952,71
Octubre	8583,72	5523,425	3274,39
Noviembre	9061,99	5831,18	3456,83
Diciembre	9754,23	6276,621	3720,89
DEMANDA ENERGÉTICA Anual (KWh)	100.835,39	64.885,25	38.465,15

5.2.2 Estudio sin instalación solar

Inicialmente, el edificio de viviendas no dispone de instalación solar, por lo tanto, toda la energía necesaria para el suministro de agua caliente sanitaria debe ser aportada por el sistema de apoyo, es decir por la caldera de gas natural. Siendo el total expuesto anteriormente de 100.835 KWh/año.

Para convertir la energía consumida en emisiones se utiliza un coeficiente de emisiones de CO₂, obtenido del documento (RITE, Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España, 2014), en el que se muestra que, para el gas natural el factor de emisión es el siguiente:

$$0,252 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$$

Finalmente, las **emisiones de dióxido de carbono estimadas son de 25,41 toneladas al año.**

5.2.3 Estudio con instalación solar

Si se realiza el mismo estudio de emisiones de CO₂ teniendo en cuenta la instalación solar propuesta en el presente proyecto, el sistema de apoyo deberá aportar un total de **38.465 KWh** para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria en el edificio.

Siguiendo el mismo factor de emisión que el utilizado en el apartado anterior, con un valor de 0,252 kg CO₂/kWh, se obtiene como resultado, teniendo en cuenta el sistema con la instalación solar, que las **emisiones de dióxido de carbono estimadas son de 9,69 toneladas de CO₂.**

5.2.4 Conclusión viabilidad ambiental

Se concluye que si se lleva a cabo el presente proyecto, la reducción de emisiones de efecto invernadero **se reduce en 15,72 toneladas anuales**, es decir aproximadamente un 64% menos.

Aunque este valor de emisiones es ligeramente superior al estimado en el CHEQ4, se debe a diferentes metodologías de cálculo, pero no es lo suficientemente importante la diferencia como para tenerlo en cuenta.

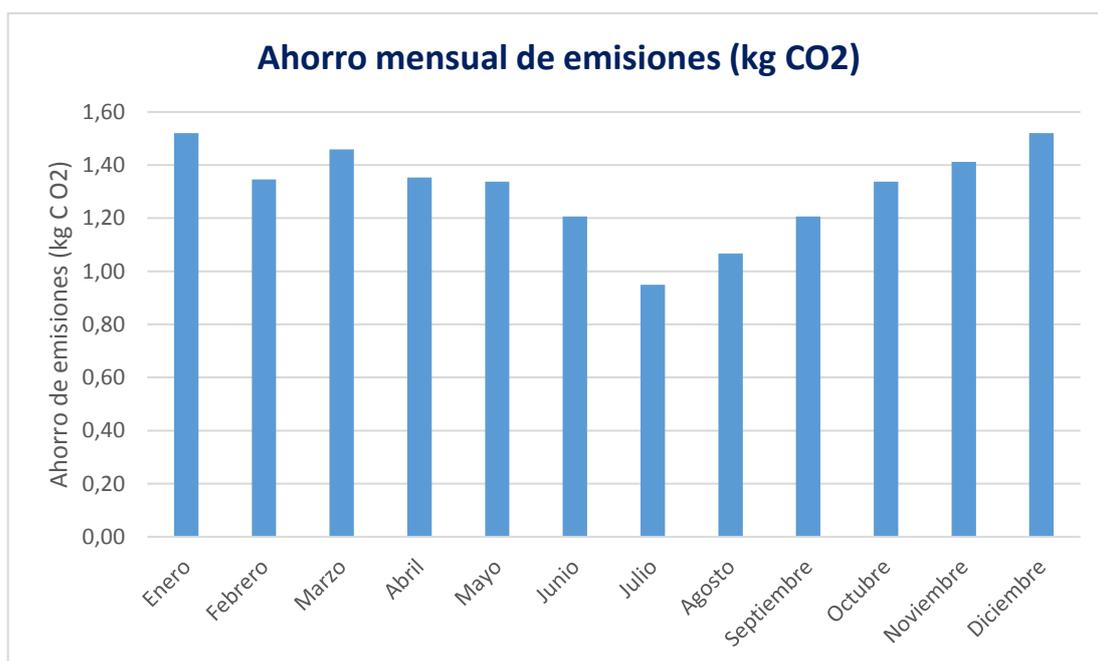


Figura 49. Gráfico del ahorro mensual de emisiones de CO2 (kg)

Como se puede apreciar en el anterior gráfico, todos los meses del año se consigue un ahorro de emisiones, disminuyendo en los meses de verano, esto se debe a que son meses con menos ocupación y además se consume menos agua caliente sanitaria debido al clima, ambos factores reducen el consumo energético, y por tanto se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero.

Dicha cantidad de ahorro de emisiones es significativamente importante y por lo tanto **queda justificada la viabilidad del proyecto en términos medio-ambientales.**

5.3 ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNOLÓGICA

Atendiendo a los requerimientos tecnológicos o técnicos del presente proyecto, se debe analizar la disponibilidad de todos los elementos que conforman la instalación para llevar a cabo el proyecto satisfactoriamente.

En primer lugar, se requieren máquinas y aparatos que han sido analizados en el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta por un lado la disponibilidad, señalando catálogo y modelo del fabricante, y verificando que estos elementos cumplan con las características necesarias, como implicaciones energéticas, operatividad, medidas, caudales, etc. Ni la disponibilidad ni las características han supuesto un problema gracias a la gran variedad de empresas existentes y su diversidad de modelos.

En segundo lugar, la disposición de toda la maquinaria en los espacios comunes del edificio requiere una gran superficie, por lo que se ha adaptado un espacio para ello en la última planta para ubicarlos correctamente. Simplemente se ha necesitado retirar dos muros para conformar una habitación más grande. Lo cual no ha supuesto quitar espacio individual a ninguna vivienda.

Para continuar, la red de distribución de agua se ha diseñado de la forma más eficiente posible en cuanto a condiciones hidráulicas, y se ha colocado de modo que no moleste a los usuarios del edificio en su vida cotidiana. Además se ha dispuesto de unas tuberías y aislamientos comunes que se encuentran fácilmente en el mercado.

Todos los elementos del sistema están dispuestos con la intención de que se pueda realizar la labor de mantenimiento fácilmente cuando se requiera, siendo un procedimiento sencillo y similar a otros sistemas, para el que existen profesionales capacitados.

Es importante además del mantenimiento, un buen sistema de control que funcione a tiempo real y se encargue de monitorizar el funcionamiento de la instalación con las variables de diseño impuestas, y que detecte las posibles fallos que puedan producirse.

Por todo lo expuesto anteriormente se considera que el Trabajo Fin de Grado es viable tecnológicamente.

6 BIBLIOGRAFÍA

- ACS. (Junio de 2010). *RITE: Guías Técnicas de Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización*.
Obtenido de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf
- CHEQ4. (Septiembre de 2013). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de <http://cheq4.idae.es/>
- Condiciones climáticas exteriores, G. (Junio de 2010). *RITE: Guías Técnicas de Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización*. Obtenido de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf
- CTE. (17 de Marzo de 2006). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía*. Obtenido de Código Técnico de la Edificación: <http://www.idae.es/index.php/id.45/relmenu.348/mod.pags/mem.detalle>
- DB HE-4, C. (12 de Septiembre de 2013). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>
- DB HS-4, C. (Diciembre de 2015). *Código Técnico de la Edificación*. Obtenido de <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>
- ENDESA, S. (s.f.). *Precios Tarifas Reguladas Luz y Gas*. Obtenido de ENDESA S.A.: <https://www.endesaclientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas.html>
- Escoda, S. (2016). *Energías renovables, catálogos y tarifas* Salvador Escoda.
- HS-5, D. (Diciembre de 2015). *Código Técnico de la Edificación*. Obtenido de <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>
- IDAE. (s.f.). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía*. Obtenido de <http://www.idae.es/index.php>
- IDAE, & CENSOLAR. (Enero de 2009). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja*. Obtenido de http://idae.electura.es/publicacion/293/instalaciones_energ%EF%BF%BDA_solar_t%EF%BF%BDrmica_pliego_condiciones_t%EF%BF%BDcnicas_instalaciones_baja_temperatura
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, R. (2003). *R.D. 865/2003*. Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Montagud, C., & Cañada, J. (s.f.). En *Apuntes de Diseño y Dimensionado de Instalaciones Solares de ACS*.
- Ribera, J. C. (2008). *Manual de energía solar térmica*. Universidad Politécnica de Valencia.

- RITE. (20 de Julio de 2007). *Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios*. Obtenido de <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.1030/id.27/relmenu.53>
- RITE. (Julio de 2014). *Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. Obtenido de IDAE: http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/C%20_%2020140720_Factores%20emision%20CO2%20y%20E%20%20Final_Primaria-CorrErrata_con%20portada.pdf
- Sancho Ávila, J. M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez de Cos Escuin, M. C., Montero Cadalso, J., & López Bartolomé, M. (2012). *Atas de Radiación Solar en España SAF de Clima de EUMETSAT*. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Obtenido de http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf
- VAILLANT. (2016). Catálogos y tarifas Vaillant.
- VISSMAN. (2015). Catálogo y tarifa domestica Viessman.

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica
para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

PRESUPUESTO

1 PRESUPUESTO DE EQUIPOS Y MATERIALES

En este apartado se trata de cuantificar el valor de cada uno de los elementos del sistema, y obtener el coste de material necesario. Dado que se han definido todos los componentes del sistema, y se ha elegido un modelo de catálogo se tiene el precio para cada uno de ellos.

Se enumeran a continuación de equipos y materiales de los costes dividido por tramos:

Tabla 24. Presupuesto del circuito primario (€)

CIRCUITO SOLAR/PRIMARIO			
	UNIDADES	PRECIO (€/ud)	IMPORTE (€)
PANELES SOLARES ESCOSOL 3.0. TINOX PLUS	24	630,00 €	15.120,00 €
SOPORTE CUBIERTA INCLINADA 2 clectores, Salvador Escoda	12	82,00 €	984,00 €
BOMBA Wilo-Stratos 30/1-8	2	1.022,00 €	2.044,00 €
VASO DE EXPANSIÓN modelo 220 SMR de 200 litros	1	591,16 €	591,16 €
INTERCAMBIADOR modelo CC 08 022 IDS30-20M	1	205,00 €	205,00 €
DISOLUCIÓN DE PROPILENGLICO, ESCOGLICOL PLUS FLD 160 50 litros	1	158,00 €	158,00 €
SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL RESOL DeltaSol CS/4	1	169,00 €	169,00 €
Mano de obra	19	35,00 €	665,00 €
TOTAL CIRCUITO SOLAR/PRIMARIO			19.936,16 €

Tabla 25. Presupuesto del circuito secundario (€)

CIRCUITO SECUNDARIO			
	UNIDADES	PRECIO (€/ud)	IMPORTE (€)
ACUMULADOR DE INERCIA Código CC 01 545 Modelo AN	1	3.350,00 €	3.350,00 €
BOMBA Wilo-Stratos 30/1-6	2	922,00 €	1.844,00 €
VASO DE EXPANSIÓN modelo 350 SMR de 300 litros.	1	751,81 €	751,81 €
Mano de obra	12	35,00 €	420,00 €
TOTAL CIRCUITO SECUNDARIO			6.365,81 €

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

Tabla 26. Presupuesto del circuito de apoyo (€)

CIRCUITO DE APOYO			
	UNIDADES	PRECIO (€/ud)	IMPORTE (€)
INTERACUMULADOR SERIE IN 2500 Litros, Código CC 01 528	1	2.790,00 €	2.790,00 €
CALDERA modelo RCB 3S 150 de Area Energy	1	2.615,00 €	2.615,00 €
BOMBA Wilo-Stratos 25/1-4	1	721,00 €	721,00 €
Mano de obra	16	35,00 €	560,00 €
TOTA CIRCUITO DE APOYO			6.686,00 €

Tabla 27. Presupuesto del circuito de distribución (€)

CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN			
	UNIDADES	PRECIO (€/ud)	IMPORTE (€)
Conducciones	1	5.969,4 €	5.969,4 €
Aislamiento	1	1.620,03 €	1.620,03 €
Válvulas, codos,etc.	20%	5.969,4 €	1.193,88 €
Mano de obra	30	35,00 €	1.050,00 €
TOTA CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN			9.833,31 €

El cálculo desglosado de las conducciones y el aislamiento se muestra a continuación:

Tabla 28. Presupuesto de las conducciones (€)

CONDUCCIONES			
TRAMOS TUBERIAS DE COBRE POR DIAMETRO EXT (mm)	Uds. Metros	PRECIO TUBERÍA (€/ud)	IMPORTE TUBERÍA (€)
28 mm	399,06	9,80 €	3.910,79 €
35 mm	76,28	16,70 €	1.273,88 €
40 mm	11,67	18,20 €	212,39 €
42 mm	9	20,50 €	184,50 €
54 mm	15,15	25,60 €	387,84 €
TOTAL CONDUCCIONES			5.969,4 €

Tabla 29. Presupuesto del aislamiento (€)

AISLAMIENTO CONDUCCIONES			
TRAMOS TUBERIAS DE COBRE POR DIAMETRO EXT (mm)	Uds. Metros	PRECIO AISLAMIENTO (€/ud)	IMPORTE AISLAMIENTO (€)
25 mm	412,8	2,73 €	1.126,94 €
30 mm	24,15	3,24 €	78,25 €
35 mm	81,54	4,06 €	331,05 €
40 mm	16,27	5,15 €	83,79 €
TOTAL AISLAMIENTO			1.620,03 €

Tabla 30. Presupuesto total de equipo y materiales

TOTAL PRESUPUESTO EQUIPO Y MATERIALES	
ELEMENTOS	IMPORTE (€)
CIRCUITO SOLAR/PRIMARIO	19.936,16 €
CIRCUITO SECUNDARIO	6.365,81 €
CIRCUITO DE APOYO	6.686,00 €
CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN	9.833,31 €
TOTAL	42.821,28 €

El resumen del presupuesto es el expuesto en la tabla anterior, con un total de **42.821,28 €**.

2 PRESUPUESTO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Para evaluar el coste de consumo energético de la instalación se calcula el coste del equipo auxiliar, que consta de una caldera de gas y un interacumulador. Por lo tanto, conociendo los costes unitarios de gas natural obtenidos de la página (ENDESA, s.f.), y sabiendo que el consumo auxiliar anual es de **38.465 kWh**, es posible realizar el cálculo. Se muestra a continuación el coste de gas natural proporcionado por ENDESA:

Tabla 31. Tarifa regulada del Gas Natural

Término Fijo	Término Variable
8,67 €/mes	0,04075049 €/kWh

$$\text{Coste gas natural} = 8,67 \cdot 12 + 0,04075049 \cdot 38.465 = \mathbf{1.671,51 \text{ €}} \quad (\text{Ec. 79})$$

Finalmente se obtiene que el coste anual del consumo de gas natural del equipo de apoyo, teniendo en cuenta las tarifas reguladas vigentes en la actualidad, es de **1.671,51 €**.

3 VIABILIDAD ECONÓMICA

Las instalaciones de este tipo, instalación solar térmica para suministro de ACS, tiene una vida útil estimada en 25 años. Por lo tanto se va a analizar la rentabilidad que tendrá la instalación con los costes y beneficios para un periodo de 25 años.

En primer lugar, se calcula el consumo de gas natural si la instalación no dispusiera de aporte solar, es decir, si toda la demanda energética se cubriese con la caldera de gas, que siendo una demanda energética bruta anual de **100.835 kWh**, el coste anual sería el expresado a continuación:

$$\text{Coste gas natural} = 8,67 \cdot 12 + 0,04075049 \cdot 100.835 = \mathbf{4.213,11 \text{ €}} \quad (\text{Ec. 80})$$

El beneficio que se obtiene es la diferencia entre estos valores, resultando ser **2.541,61 €**.

Teniendo en cuenta además, una tasa de inflación del 1,5 %, habitual para instalaciones de bienes y servicios energéticos, se puede calcular el TIR, y comprobar la rentabilidad de la instalación.

Tabla 32. Cálculo del TIR a 25 años

Coste inversión (€)				
44.492,79				
Año				
Ingresos				
1	2	3	4	5
2541,61	2579,73	2618,43	2657,70	2697,57
6	7	8	9	10
2738,03	2779,10	2820,79	2863,10	2906,05
11	12	13	14	15
2949,64	2993,88	3038,79	3084,37	3130,64
16	17	18	19	20
3177,60	3225,26	3273,64	3322,75	3372,59
21	22	23	24	25
3423,18	3474,53	3526,64	3579,54	3633,24
TIR a 25 años				5%

En la tabla anterior, se muestra el cálculo de los ingresos año a año, teniendo en cuenta los 25 años de vida útil de la instalación, y mostrándose el desarrollo que van sufriendo dichos ingresos debido a la tasa de inflación. Finalmente se obtiene un Tasa Interna de Retorno (TIR) de un 5%.

Por otro lado, se puede estimar en cuanto tiempo se amortizaría la inversión, denominado como el periodo de retorno, que se define como la inversión inicial entre el beneficio neto anual.

$$C_{\text{Periodo retorno}} (\text{años}) = \frac{\text{Inversión (€)}}{\text{Beneficio neto anual } \left(\frac{\text{€}}{\text{año}}\right)} = \frac{42.821,28}{2.541,61} = 16,85 \text{ años} \quad (\text{Ec. 81})$$

Es decir que la inversión inicial sería recuperada en aproximadamente 17 años, y teniendo en cuenta que la vida útil es de 25 años es un buen resultado.

Por lo tanto, se puede considerar que el Trabajo Fin de Grado es **viable económicamente**.

ANEXOS

1 ANEXO I. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

01 COLECTORES SOLARES



• Colectores planos

Colectores solares planos de nueva generación y tecnología, adecuados para todos los sistemas, tanto de termosifón como de circulación forzada. Su fabricación y la gran calidad de sus componentes, garantizan un excelente rendimiento y una gran durabilidad, aún en periodos de baja radiación solar.

El absorbedor se compone de una placa de cobre con tratamiento selectivo, a la que se unen tubos de cobre con tecnología láser. La carcasa en aluminio y el aislamiento térmico interior permiten minimizar al máximo las pérdidas del colector, lo que queda reflejado en las excelentes curvas de rendimiento, y aseguran una perfecta estanqueidad.

El acristalamiento, lámina de vidrio templado con bajo contenido de hierro, deja pasar más energía que el vidrio habitualmente utilizado para ventanas. Incorporan sendos orificios para alojar la sonda de temperatura.

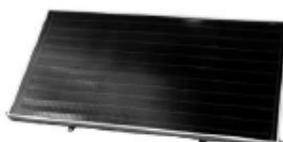
La amplia gama de modelos, permite realizar todo tipo de configuraciones para adaptarse a las necesidades ACS. También pueden ser utilizados como apoyo a sistemas de calefacción a baja temperatura y para calentamiento de piscinas.



ECO selectivo



SOL XBA



SOL selectivo

Código	Artículo	€
COLECTOR SOLAR PLANO		
SO 01 073	ESCOSOL ECO 2.0 selectivo	325,00
SO 01 074	ESCOSOL ECO 2.5 selectivo	360,00
SO 01 011	ESCOSOL SOL 2100 XBA 2,1 m ²	346,00
SO 01 012	ESCOSOL SOL 2300 XBA 2,3 m ²	367,00
SO 01 013	ESCOSOL SOL 2800 XBA 2,8 m ²	419,00
SO 01 021	ESCOSOL SOL 2800 selectivo	598,00
SO 01 022	ESCOSOL SOL 2800 H selectivo	598,00
SO 01 054	ESCOSOL - 3.0 TINOX PLUS	630,00

DATOS TÉCNICOS:

Modelo	ECO 2.0	ECO 2.5	SOL 2100 XBA	SOL 2300 XBA	SOL 2800 XBA	SOL 2800 selectivo	SOL 2800 H selectivo	CPC/ML 3.0 TINOX PLUS
Dimens. ext. LxAxH mm	1960x960x81	2135x1238x81	1738x1218x98	1903x1216x100	2322x1217x100	2307x1206x99	1206x2307x99	2300x1240x77
S. Total m ²	1,88	2,64	2,12	2,31	2,83	2,82	2,82	2,85
S. apertura m ²	1,78	2,52	1,96	2,13	2,55	2,65	2,65	2,67
Rendimiento								
η_0	0,763	0,763	0,746	0,749	0,749	0,704	0,711	0,823
a^2 W/m ² /K	4,78	4,78	6,53	5,819	5,819	3,555	3,168	3,86
Contraseña de homologación	GPS-8594	GPS-8594	GPS-8444	GPS-8444	GPS-8444	GPS-8191	GPS-8191	NPS-2414

Figura 50. Catálogo del captador solar

**CC INTERCAMBIADORES DE PLACAS
 TERMOSOLDADOS**



El principio de construcción del Intercambiador de placas termosoldado comprende un paquete de placas, está compuesto por placas canal corrugadas entre los paquetes de placas delanteras y traseras de cubierta.

Las placas de cubierta constan de placas de sellado, anillos diegos y placas de cubierta. Durante el proceso de soldadura al vacío se forma una unión soldada en cada punto de contacto entre dos placas.

El diseño crea un intercambiador de calor que consta de dos circuitos separados.



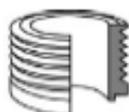
Código	Artículo	Peso Kg	Medidas mm	€
CC 08 002	IDS14-20H de 20 placas	1,2	55 x 78 x 209	110,00
CC 08 003	IDS14-30H de 30 placas	2,4	78 x 78 x 209	140,00
CC 08 004	IDS14-40H de 40 placas	3	101 x 78 x 209	170,00
CC 08 022	IDS30-20M de 20 placas	3,7	57 x 110 x 310	205,00
CC 08 023	IDS30-30M de 30 placas	4,9	81 x 110 x 310	255,00
CC 08 024	IDS30-40M de 40 placas	6,1	105 x 110 x 310	305,00
CC 08 052	IDS110-20M de 20 placas	14,2	58 x 191 x 616	595,00
CC 08 053	IDS110-30M de 30 placas	17,8	82 x 191 x 616	755,00
CC 08 054	IDS110-40M de 40 placas	21,4	105 x 191 x 616	915,00



Modelo	Rosca	Temp. Máx. °C	Caudal máx. m³/h	Presión bar
IDS 14	ISO-G 3/4" M	225	3,6	0 a 30
IDS 30	ISO-G 1" M		8,1	
IDS 110	ISO-G 2" M		34	

Materiales estándar:

- Placas de cubierta: 304 acero inoxidable.
- Conexiones: 316L acero inox.
- Placas: 316L acero inoxidable.
- Material de soldadura: 99,99% cobre.



Conexiones roscadas externamente (macho)

Producción de ACS con Energía Solar Térmica

Ref. Escoda	Modelo	Nº Placas	Nº Paneles Solares 2 m²	Potencia Energ. Solar	Caudal l/h Caldera (1º)	Caudal l/h ACS (2º)
CC 08 002	IDS14-20H	20	5	7 kW	600	600
CC 08 002	IDS14-20H	20	10	14 kW	1200	1200
CC 08 003	IDS14-30H	30	15	21 kW	1800	1800
CC 08 004	IDS14-40H	40	25	35 kW	3000	3000
CC 08 022	IDS30-20M	20	30	40 kW	3500	3500
CC 08 023	IDS30-30M	30	35	50 kW	4400	4300
CC 08 024	IDS30-40M	40	45	70 kW	5300	5200
CC 08 052	IDS110-20M	20	90	100 kW	11100	10800
CC 08 053	IDS110-30M	30	135	150 kW	15900	15000
CC 08 054	IDS110-40M	40	175	200 kW	21000	20200

Primario: 55°C/45°C Secundario: 35°C/45°C PdC Circuito Solar: Max. 3 m.c.a.

APLICACIONES 1 FASE
 Calefacción, Solar, Clima ...

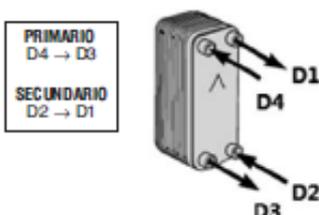


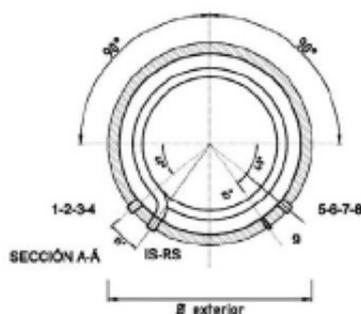
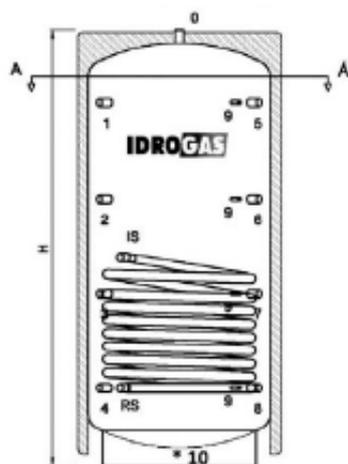
Figura 51. Catálogo del intercambiador de placas

01 ACUMULADORES DE INERCIA
«Serie IN y AN»



Características técnicas

Los depósitos de acumulación IDROGAS – IN y AN, están fabricados en el acero al carbono de calidad S235 JR y soldados con la mejor tecnología. Aislados con poliuretano flexible, densidad de 25 Kg/m³ y 50 mm espesor. En capacidades de 100 a 5000 litros. Diseñados para aguantar presión de trabajo de 6 bar y 8 bar en el serpentín (IN). Temperatura hasta 90°C. Conexiones hembra.



Código	Artículo	€
INTERACUMULADOR SERIE IN		
CC 01 520	IN 100	675,00
CC 01 521	IN 200	730,00
CC 01 522	IN 300	795,00
CC 01 523	IN 500	995,00
CC 01 524	IN 800	1.390,00
CC 01 525	IN 1000	1.580,00
CC 01 526	IN 1500	1.930,00
CC 01 527	IN 2000	2.460,00
CC 01 528	IN 2500	2.790,00
CC 01 529	IN 3000	3.370,00
CC 01 530	IN 4000	4.490,00
CC 01 531	IN 5000	4.990,00
ACUMULADOR DE INERCIA		
CC 01 535	AN 100	385,00
CC 01 536	AN 200	550,00
CC 01 537	AN 300	620,00
CC 01 538	AN 500	790,00
CC 01 539	AN 800	995,00
CC 01 540	AN 1000	1.150,00
CC 01 541	AN 1500	1.390,00
CC 01 542	AN 2000	1.650,00
CC 01 543	AN 2500	1.995,00
CC 01 544	AN 3000	2.350,00
CC 01 545	AN 4000	3.350,00
CC 01 546	AN 5000	3.800,00



Código	Modelo	Capacidad (Litros)	Ø exterior (mm)	H (mm)	0-1-2 3-4-5 6-7-8	9	10	IS RS	Presión máxima de trabajo	Temp. Máxima (°C)	Peso Vaso (IN (kg))	Sup. Int. S. Interior (m ²)	Presión máxima
CC 01 520	N	100	480	1050	1"	1/2"	-	1"	6	90°	55	0,38	88 ar
CC 01 521	N	200	580	1300	1"	1/2"	-	1"	6	90°	88	0,64	88 ar
CC 01 522	N	300	580	1800	1"	1/2"	-	1"	6	90°	134	1,32	88 ar
CC 01 523	N	500	700	1950	1" 1/4	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	145	1,68	88 ar
CC 01 524	N	800	930	1750	1" 1/4	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	200	3,10	88 ar
CC 01 525	N	1000	930	2000	1" 1/4	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	225	3,48	88 ar
CC 01 526	N	1500	1150	2100	1" 1/2	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	275	4,05	88 ar
CC 01 527	N	2000	1300	2150	2"	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	330	4,86	88 ar
CC 01 528	N	2500	1400	2255	2"	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	400	5,67	88 ar
CC 01 529	N	3000	1500	2330	3"	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	475	6,48	88 ar
CC 01 530	N	4000	1700	2350	3"	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	630	7,30	88 ar
CC 01 531	N	5000	1850	2450	4"	1/2"	-	1" 1/4	6	90°	750	8,11	88 ar

Código	Modelo	Capacidad (Litros)	Ø exterior (mm)	H (mm)	0-1-2 3-4-5 6-7-8	9	10	Presión máxima de trabajo (Bar)	Temp. Máxima (°C)	Peso Vaso AN (kg)
CC 01 535	AN	100	480	1050	1"	1/2"	-	6	90°	50
CC 01 536	AN	200	580	1300	1"	1/2"	-	6	90°	75
CC 01 537	AN	300	580	1800	1"	1/2"	-	6	90°	115
CC 01 538	AN	500	700	1950	1" 1/4	1/2"	-	6	90°	135
CC 01 539	AN	800	930	1750	1" 1/4	1/2"	-	6	90°	180
CC 01 540	AN	1000	930	2000	1" 1/4	1/2"	-	6	90°	200
CC 01 541	AN	1500	1150	2100	1" 1/2	1/2"	-	6	90°	245
CC 01 542	AN	2000	1300	2150	2"	1/2"	-	6	90°	300
CC 01 543	AN	2500	1400	2255	2"	1/2"	-	6	90°	375
CC 01 544	AN	3000	1500	2330	3"	1/2"	-	6	90°	450
CC 01 545	AN	4000	1700	2350	3"	1/2"	-	6	90°	600
CC 01 546	AN	5000	1850	2450	4"	1/2"	-	6	90°	725

Figura 52. Catálogo del acumulador e interacumulador

Calderas de media y gran potencia

Calderas y grupos térmicos de baja temperatura a gas y gasóleo

BAXI

CPA-BT



Caldera monobloc de chapa de acero fabricada en acero especial para garantizar una larga vida útil. Hogar sobrepresionado con cámara de combustión y circuito de humos totalmente refrigerados.

Facilidad de instalación y mantenimiento: amplia puerta frontal que facilita la limpieza del haz tubular y de la cámara de combustión. Puerta reversible, fácilmente adaptable para abrirse hacia la derecha o la izquierda según necesidades de la instalación.

Versatilidad de regulación: control de caldera mediante regulación electrónica KSF o regulación analógica.

	55	80	115	150
Potencia útil	55	80	115	150
Rendimiento útil ⁽¹⁾ con carga 100% %	91,0%	91,1%	91,4%	91,4%
Rendimiento útil ⁽¹⁾ con carga 30% %	91,7%	92,0%	92,0%	92,3%
Sobrepresión cámara combustión mm.c.a.	4	4	8	12
Pérdida presión circuito agua Δt=15°C mm.c.a.	80	105	135	120
Peso neto aproximado kg	250	285	330	385
Anchura cota A mm	810	810	810	880
Altura cota B mm	870	870	870	940
Profundidad cota D mm	1.144	1.254	1.394	1.394
Diámetro evacuación de humos cota G mm	175	175	175	195
Ida cota e	2"	2"	2"	DN 65
Retorno cota b	2"	2"	2"	DN 65
Capacidad agua l	115	130	150	170
Presión máxima de trabajo bar	5	5	5	5

Cuadro de control básico 1 etapa

Referencia	190120060	190120061	190120062	190120063
PVP	1.799 €	1.935 €	2.379 €	2.615 €

Cuadro de control básico 2 etapas

Referencia	190120065	190120066	190120067	190120068
PVP	1.971 €	2.139 €	2.577 €	2.813 €

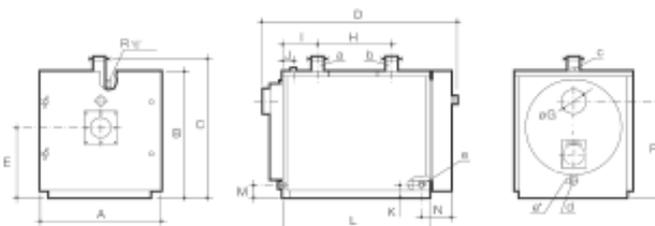
Cuadro de control digital KSF

Referencia	190120083	190120084	190120085	190120086
PVP	2.305 €	2.473 €	2.912 €	3.148 €

Forma de suministro

2/3 bultos: Cargo de caldera montado incliaye: turbuladores, conjunto puerta de seguridad antiexplosión (excepto CPA 55-BT16), volante cierre puerta, cepillo de limpieza y manta aislante + En oliveta incliaye: accesorios de fijación de la envolvente, flejes, sujeción manta aislante, visor minúta y cuadro de control básico. Cuadro digital KSF cuando corresponda en bulto aparte.

(1) Temp. media del agua 70°C al 100% y 60°C al 30%



Para otras cosas no indicadas en la tabla superior consultar manual instalación

Para consultar la compatibilidad de estas calderas con la gama de quemadores BAXI ir a la tabla de acoplamiento quemadores y calderas del capítulo de Complementos y componentes de instalaciones.

Figura 53. Catálogo de la caldera de apoyo

ESCOGLICOL PLUS FLD 160

anticongelante

paneles solares - uso alimentario



DESCRIPCIÓN: Líquido anticongelante listo para el uso de color anaranjado. Como anticongelante de tipo permanente a base de GLICOL PROPILÉNICO, ESCOGLICOL PLUS se distingue por su elevada biodegradabilidad y por la ausencia de aminas, nitritos, fosfatos, silicatos y boratos en su paquete inhibidor. ESCOGLICOL PLUS es un anticongelante de inhibición orgánica de larga duración, con una reserva alcalina sumamente elevada con respecto a los anticongelantes comunes. Las propiedades protectoras de ESCOGLICOL PLUS se aplican perfectamente a todos los metales, en particular el aluminio y sus aleaciones y el cobre, que constituyen los principales componentes de los circuitos de enfriamiento y calentamiento. Es específico para instalaciones alimentarias y para paneles solares.

FORMA DE USO:

Limpie cuidadosamente la parte correspondiente de la instalación, en conformidad con las normas vigentes, disponibles a petición (por ejemplo: UNI CTI 8065, 8364, 8884 - Tratamiento del agua en instalaciones térmicas). Si es necesario, realice un decapado de las tuberías para eliminar los restos de herrumbre y de soldadura. Inyecte ESCOGLICOL PLUS en el punto más accesible del circuito, cerca de la bomba de la caldera. Haga funcionar la instalación en frío durante algunas horas y, después de encender la caldera, purgue cuidadosamente en los puntos con escasa circulación.

ATENCIÓN: Para una obtener buena protección anticorrosiva se recomienda no diluir el ESCOGLICOL PLUS, sino utilizarlo tal cual; esto permite al fluido de intercambio térmico permanecer inalterado en los momentos de estancamiento de la instalación (ausencia de circulación), incluso a temperaturas elevadas.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-FÍSICAS			
	Límites ASTM**	Método	Especificación
	D 3306	ASTM	ESCOGLICOL
Peso específico a 15 °C	1.030 - 1.065	D 1122	1.025 - 1.035
Contenido agua aparente	50 %	D 1123	55 % máx.
pH tal cual	7.5 - 11.0	D 1287	8.5 - 9.5
Alcalinidad de reserva	---	D 1121	10 mín.
Cenizas	2,5 % máx.	D 1119	1 % máx.
Punto de congelación - 28 °C máx.		D 1177	-26 °C máx.
Punto ebullición			véase tabla adjunta
Olor	---	---	no ofensivo
Formación de espuma (ml/s)	150/5 máx.	D 1881	50/2 máx.
Solubilidad en agua	completa	---	completa
Resistencia a las aguas duras	limpido	NC 956-14 CUNA	limpido

**Ref. ALIGEL HEAT CHANGE FACOT

Figura 54. Catálogo del anticongelante (propilenglicol)

Bombas de rotor húmedo de alta eficiencia

Bombas simples (calefacción y climatización)

Wilo Stratos



Wilo Stratos

Bomba circuladora simple de alta eficiencia de conexión roscada o embreada con regulación electrónica

Claves del tipo

Ejemplo: **Wilo Stratos 30/1-12**
 Stratos Serie
 30/ Diámetro de conexión (mm)
 1-12 Rango de presión diferencial (m)

Grupo de producto - PG 2

Wilo Stratos, 1~ 230 V, 50 Hz (conexión roscada)

Referencia	Modelo	Longitud (mm)	PN	Rp/DN	Precio €
2104225	Stratos 25/1-4	180	10	1"/G 1 1/2"	721,00
2090447	Stratos 25/1-6	180	10	1"/G 1 1/2"	793,00
2090448	Stratos 25/1-8	180	10	1"/G 1 1/2"	922,00
2103615	Stratos 25/1-10	180	10	1"/G 1 1/2"	1.022,00
2104941	Stratos 25/1-12	180	10	1"/G 1 1/2"	1.339,00
2104226	Stratos 30/1-4	180	10	1 1/4"/G 2"	837,00
2090449	Stratos 30/1-6	180	10	1 1/4"/G 2"	922,00
2090450	Stratos 30/1-8	180	10	1 1/4"/G 2"	1.022,00
2103616	Stratos 30/1-10	180	10	1 1/4"/G 2"	1.121,00
2090451	Stratos 30/1-12	180	10	1 1/4"/G 2"	1.545,00



La Wilo-Stratos 25/1-6 ha ganado el premio Energy+ 2008 en la categoría reina de las bombas de alta eficiencia (caudal mayor de 2,35 m3/h)

Grupo de producto - PG 2

Wilo Stratos, 1~ 230 V, 50 Hz (conexión embreada)

Referencia	Modelo	Longitud (mm)	PN	DN	Precio €
2103617	Stratos 32/1-10	220	6/10	32	1.305,00
2090452	Stratos 32/1-12	220	6/10	32	1.518,00
2090453	Stratos 40/1-4	220	6/10	40	1.143,00
2090454	Stratos 40/1-8	220	6/10	40	1.504,00
2103618	Stratos 40/1-10	220	6/10	40	1.185,00
2090455	Stratos 40/1-12	250	6/10	40	1.845,00
2131666	Stratos 40/1-16	250	6/10	40	2.369,00
2090456	Stratos 50/1-8	240	6/10	50	1.958,00
2090457	Stratos 50/1-9	280	6/10	50	2.285,00
2103619	Stratos 50/1-10	240	6/10	50	1.421,00
2090458	Stratos 50/1-12	280	6/10	50	2.524,00
2131667	Stratos 50/1-16	340	6/10	50	3.399,00
2090459	Stratos 65/1-9	280	6/10	65	2.597,00
2090460	Stratos 65/1-12	340	6/10	65	2.937,00
2131668	Stratos 65/1-16	340	6/10	65	3.554,00
2087523	Stratos 80/1-12	360	6	80	3.760,00
2087524	Stratos 80/1-12	360	10	80	3.863,00
2087525	Stratos 100/1-12	360	6	100	4.481,00
2087526	Stratos 100/1-12	360	10	100	4.584,00

Información de producto:

- Rango de temperatura desde -10°C a 110°C
- Fácil manejo gracias al display Integrado de la bomba
- Control remoto y consulta a distancia de las funciones de la bomba con monitor Wilo-IR
- Modos de funcionamiento Ap-c/Δp-W/Δp-T (requiere dispositivo Wilo-IR)/control/DOC
- Funcionamiento de reducción nocturna automático "autopiloto"
- Protección del motor Integrada
- Tipo de protección IPX4D
- Carcasa de la bomba con revestimiento por catáforosis
- Aislamiento térmico de serie
- Brida combinada PN6/10 (desde DN32 a DN65)
- Apta también para tensión 1~ 230V, 60 Hz, opción en PN16

Figura 55. Catálogo de las bombas de circulación

05 COMPLEMENTOS PARA INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

• Reguladores de caudal



Código	Artículo	l/min	€
SO 05 621	223.1209 inline SETTER M-H 3/4"-1/2"	3-12	39,00
SO 05 622	223.1203 inline SETTER M-H 3/4"-1/2"	0,6-2,4	39,00
SO 05 623	223.2372 bypass SETTER H-H 1"-1"	8-30	197,00
SO 05 624	223.2471 bypass SETTER H-H 1 1/4"-1 1/4"	10-40	204,00
SO 05 625	223.2151 bypass SETTER DN 65	60-325	708,00
SO 05 626	223.1208 inline SETTER M-H 3/4"-1/2"	2-8	39,00
SO 05 627	223.1239 inline SETTER M-M 3/4"-3/4"	3-12	39,00
SO 05 628	223.1305 inline SETTER H-H 1"-1"	10-40	74,00
SO 05 629	223.2571 RG.C bypass SETTER H-H 1 1/2" - 1 1/2"	20-70	227,00

• Vasos expansión energía solar



Código	Artículo	Capacidad l	Presión máx. bar	Dimensiones D x H	Conex. agua Ø	Precarga bar	€
• Temperatura máxima: 130°C • Precarga: 2,5 bar • Apto para el uso hasta 50% anticongelante							
MEMBRANA FIJA							
SO 09 021	5 SMF	5	10	200x250	3/4"	2,5	27,30
SO 09 022	8 SMF	8	10	200x340	3/4"	2,5	30,45
SO 09 023	12 SMF	12	10	270x310	3/4"	2,5	34,65
SO 09 024	18 SMF	18	10	270x415	3/4"	2,5	36,76
SO 09 025	24 SMF	24	8	320x430	3/4"	2,5	44,10
MEMBRANA INTERCAMBIABLE							
SO 09 026	35 SMR-P	35	10	360x615	1"	2,5	120,75
SO 09 027	50 SMR-P	50	10	360x750	1"	2,5	141,75
SO 09 028	80 SMR-P	80	10	450x750	1"	2,5	178,50
SO 09 029	100 SMR-P	100	10	450x850	1"	2,5	280,36
SO 09 030	220 SMR	200	10	485x1400	1-1/2"	2,5	591,16
SO 09 031	350 SMR	300	10	485x1965	1-1/2"	2,5	751,81
SO 09 032	500 SMR	500	10	600x2065	1-1/2"	2,5	1.057,35
SO 09 033	700 SMR	700	10	700x2145	1-1/2"	2,5	1.781,85

DIMENSIONAMIENTO DEL VASO DE EXPANSIÓN (*):

NF colectores		Contenido de agua en litros			Capacidad del vaso
ESCOSOL 2800 S (**)	ESCOSOL 2500 (***)	Colectores + instalación	Intercambiadores	total	
1	2	3,6	15	18,6	12
2	4	7,2	15	22,2	18
4	8	14,4	21	35,4	25
6	12	21,6	42	63,6	50
8	15	28,8	42	70,8	80
10	20	36	60	96	80
12	26	43,2	65	108,2	100
16	35	57,6	80	137,6	150
20	-	72	85	157	150
24	40	86,4	85	171,4	200
28	-	100,8	90	190,8	200
32	60	115,2	100	215,2	300
36	-	129,6	110	239,6	300
40	75	144	120	264	300
44	-	158,4	150	308,4	300
48	90	172,8	150	322,8	350
52	-	187,2	180	367,2	350
60	110	216	200	416	500
70	120	252	250	502	500
80	140	288	300	588	700

(*) Exclusivamente como valor orientativo
 (**) Presión llenado: 3,5 bar. Máx. presión trabajo: 6 bar
 (***) Presión llenado: 1,5 bar. Máx. presión trabajo: 3 bar

		• Regulación solar		RESOL®
		Código	Artículo	€
		SO 17 020	ESCOSOL DeltaSol TT para 4 sistemas básicos + 2 sondas Pt 1000 • Entradas: 3 sondas Pt1000 • Salidas: 2 relés (1 semicond. + 1 electromec.) y 1 salida PWM • Funciones: Termostato diferencial, sistema termosifón con calentamiento rápido, termostato temporizador, contador horas	129,00
		SO 17 029	RESOL DeltaSol CS/4 con 3 sistemas básicos + 3 sondas Pt 1000 • Entradas: 4 sondas Pt1000 y 1 sensor Grunfoss Direct VFD • Salidas: 2 relés semiconductores y 1 salida PWM • Funciones: Comunicación VBus, balance térmico, antilegionela, Drainback, contador de horas, control de velocidad y termostato	169,00
		SO 17 030	RESOL DeltaSol CS Plus con 10 sistemas básicos + 4 sondas Pt 1000 • Entradas: 4 sondas Pt1000 y 1 sensor Grunfoss Direct VFD • Salidas: 2 relés semiconductores y 2 salidas PWM • Funciones: Comunicación VBus, balance térmico, antilegionela, Drainback, contador de horas, control de velocidad y termostato	198,00
		SO 17 028	RESOL DeltaSol BX con 25 sistemas básicos + 5 sondas Pt 1000 + ranura SD • Entradas: 5 sondas Pt1000, 1 ranura SD, 2 sensores Grunfos Direct y caudalímetro • Salidas: 4 relés (2 semicond. +2 electromec.) y 2 salidas PWM • Funciones: Comunicación VBus, contador energía, contador de horas, termostato diferencial con módulos activables	222,00
		SO 17 024	RESOL DeltaSol E con 7 sistemas básicos + 6 sondas Pt 1000 • Entradas: 10 sondas Pt1000, 1 célula CS10 y 1 caudalímetro • Salidas: 7 relés (6 semicond. + 1 sin poten.) y 3 salidas PWM • Funciones: Comunicación VBus, contador energía, contador de horas, termostato diferencial con módulos activables, control de hasta 4 circuitos de calefacción	425,00

Figura 57. Catálogo del sistema de regulación y control

2 ANEXO II. CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO ANTICONGELANTE

En primer lugar, dada la siguiente gráfica que relaciona la densidad con la temperatura y la concentración de propilenglicol, se introducen los datos:

- Concentración en porcentaje obtenida anteriormente siendo 30% en peso
- Temperatura de trabajo del fluido, siendo 60°C la temperatura de ACS para la que se ha diseñado la instalación.

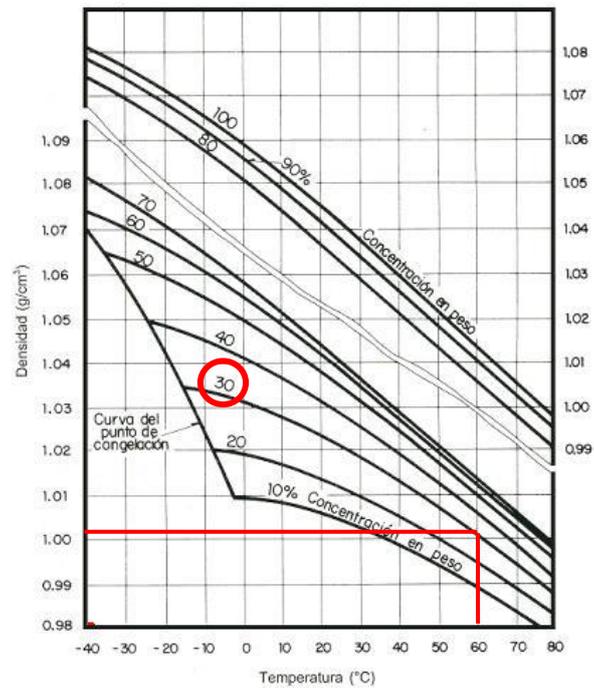


Figura 58. Curvas de la concentración de propilenglicol (%) en función de la densidad

Por tanto la densidad de la mezcla de fluido caloportador es de 1.002 g/cm^3

En segundo lugar se obtiene el calor específico de la mezcla, con los mismos puntos de partida que se han dado anteriormente, 30% de concentración y 60°C la temperatura de trabajo del fluido.

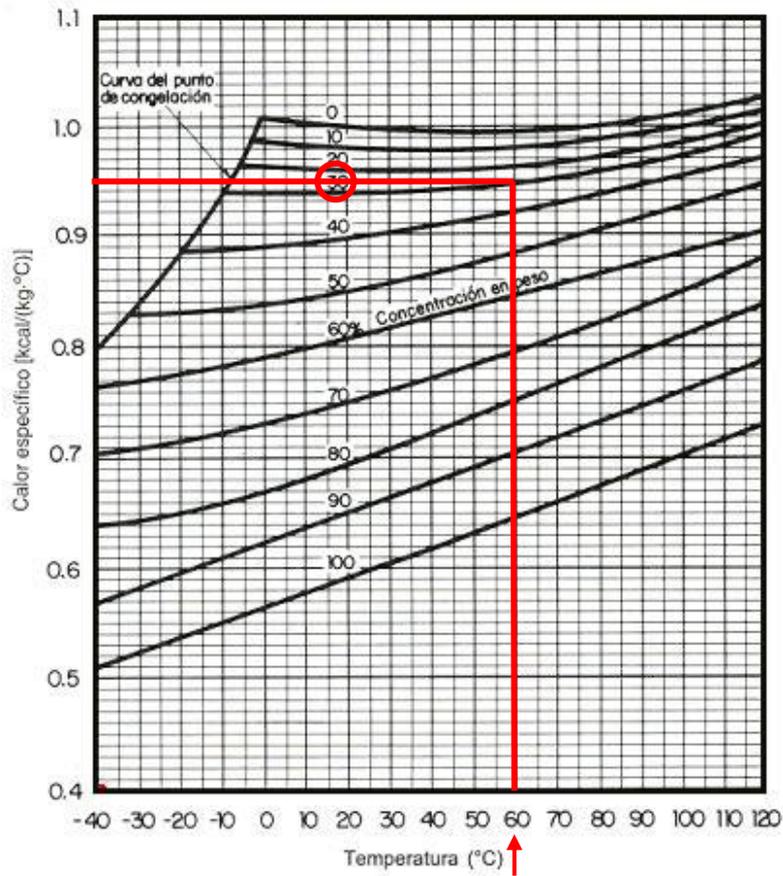


Figura 59. Curvas de la concentración de propilenglicol (%) en función del calor específico.

Obteniendo como resultado el calor específico de valor de $0.95 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ o lo que es lo mismo $3.971 \text{ KJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$.

3 ANEXO III. PASOS DEL PROGRAMA CHEQ4 Y CERTIFICADO

Provincia: Córdoba

Municipio: Córdoba

Zona climática: Zona V

Latitud: 37° 52'

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Mapa provincia



Altura municipio seleccionado (m): 123

Altura de la instalación (m):

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero	9,4	10,0	9,5
Febrero	12,7	11,0	10,9
Marzo	17,7	12,0	13,1
Abril	21,3	14,0	15,2
Mayo	24,3	16,0	19,2
Junio	28,3	19,0	23,1
Julio	29,2	21,0	26,9
Agosto	25,9	21,0	26,7
Septiembre	20,5	19,0	23,7
Octubre	14,0	16,0	18,4
Noviembre	10,0	12,0	12,9
Diciembre	8,0	10,0	9,7
Promedio	18,4	15,1	17,4

Figura 61. Paso 1 del CHEQ4, Localización del edificio

CONSUMO ÚNICO

CONSUMO MÚLTIPLE

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Instalación con sistema prefabricado

Instalación con interacumulador

Instalación con intercambiador independiente

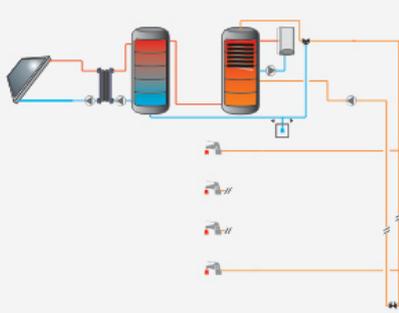
Instalación con intercambiador y piscina cubierta

Instalación con todo centralizado

Instalación con apoyo distribuido

Instalación con acumulación distribuida

Instalación con intercambio distribuido



INSTALACIÓN CON TODO CENTRALIZADO

Sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en instalaciones de consumo múltiple con acumulación solar centralizada, intercambiador de calor externo, acumulación de apoyo centralizada y conexión directa del circuito de distribución.

Figura 62. Paso 2 del CHEQ4, Configuración de la instalación

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

CONSUMO ÚNICO

Aplicación

Número de...

Demanda calculada (l/día a 60 °C)

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="2"/>	30,0	714
Tipo B	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="3"/>	40,0	952
Tipo C	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="4"/>	50,0	1.190
Tipo D	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0,0	0

Demanda calculada (l/día a 60 °C) 2.856

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C)

Demanda total (l/día a 60°C) 3.360

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 60%

Caso piscina FS 70%

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
	100	100	100	100	100	100
	80	90	100	100	100	100



Localización



Configuración



Demanda



Solar/Apoyo



Otros parámetros



Resultados

Figura 63. Paso 3 del CHEQ4, Demanda de ACS

CAPTADORES

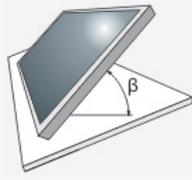
Empresa

Marca/Modelo

AVISO:
Verificar la existencia y vigencia de la certificación del captador seleccionado.

Datos de ensayo

Área (m2)	2,67
n0 (-)	0,823
a1 (W/m2K)	3,86
a2 (W/m2K)	0
Qtest(l/hm2)	72
k50	0,88
Laboratorio	INTA
Certificación	NPS-8414



CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores Captadores en serie Pérdidas sombras (%)

Orientación (°) Inclinación (°) Área total captadores (m2) 64,08

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

Caudal prim.(l/h) Anticongelante (%) Long. circuito (m)

Diám. tubería (mm) Esp. aislante (mm) Aislante

SISTEMA DE APOYO

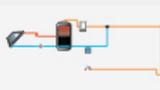
Tipo de sistema

Tipo de combustible





Localización



Configuración



Demanda



Solar/Apoyo



Otros parámetros



Resultados

Figura 64. Paso 4 del CHEQ4, Parámetros de los circuitos primario y secundario

Diseño y análisis termo-hidráulico de una instalación de energía solar térmica para el suministro de ACS en un edificio de viviendas

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Volumen total (l)



Vol/Área (l/m²) 0,00

DISTRIBUCIÓN

Long. circuito (m)

Diám.tubería (mm)

Esp. aislante (mm) T. imp.(°C)

Aislante

VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES

Tipo A (l) Tipo C (l)

Tipo B (l) Tipo D (l)

Volumen total (l) 0 Vol/Área (l/m²)

DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES

Long. total (m)

Diám. tubería (mm)

Esp. aislante (mm)

Aislante

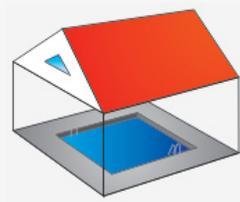
PISCINA CUBIERTA

Altura (m) Temp. ambiente (°C)

Apertura diaria (h) Temp. piscina (°C)

Superficie lámina (m²) Renov. volumen día (%)

Humedad relativa (%) Ocupación (pers/m²)



Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Figura 65. Paso 5 del CHEQ4, Parámetros del circuito de distribución y otros

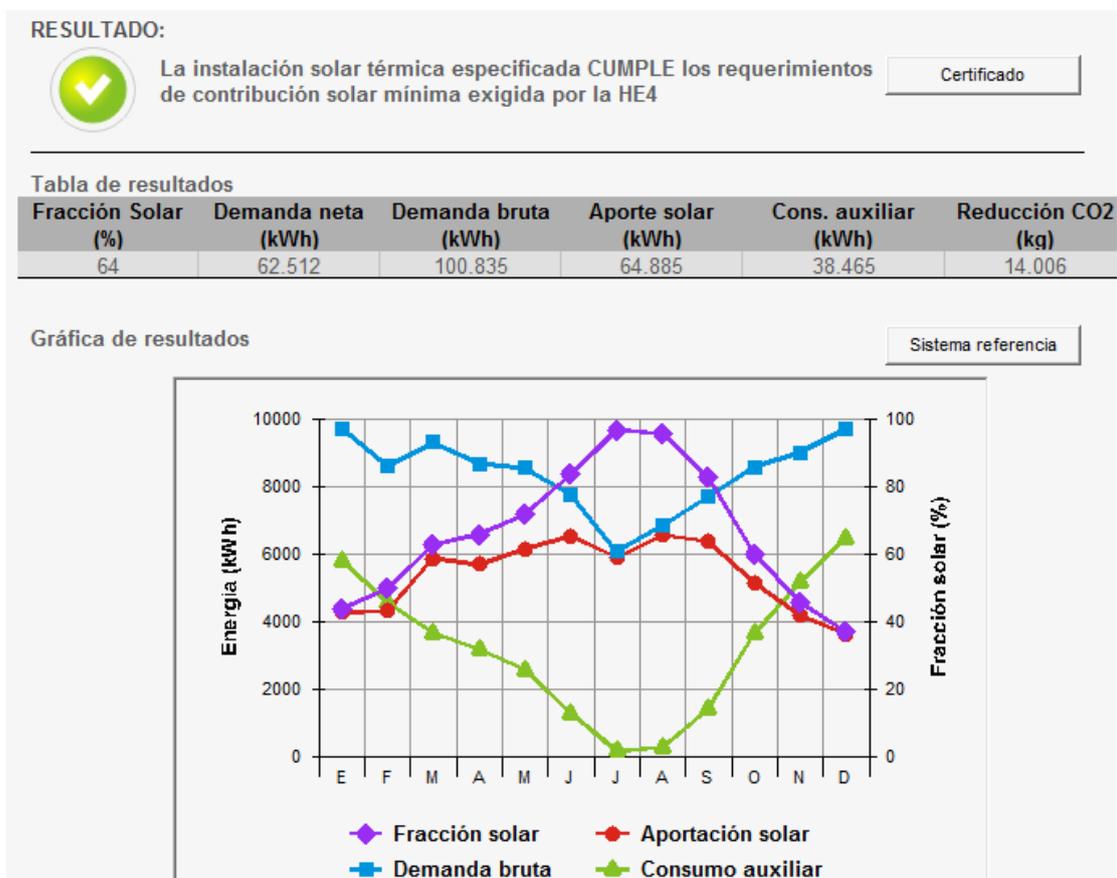


Figura 66. Resultado final del CHEQ4

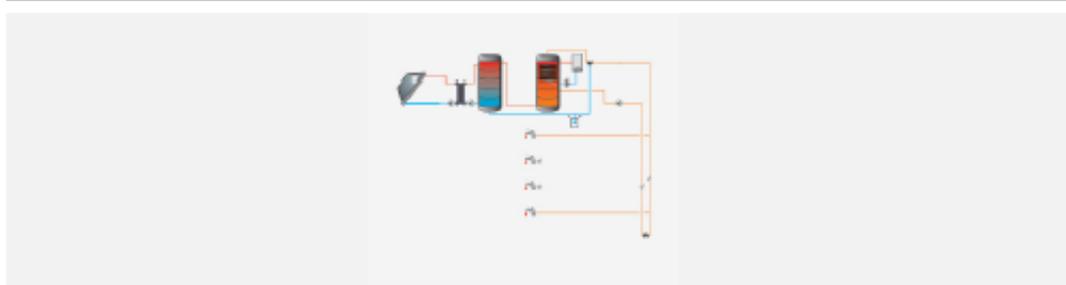


La instalación solar térmica especificada **CUMPLE** los requerimientos mínimos especificados por el HE4

Datos del proyecto	
Nombre del proyecto	Instalación ACS centralizada
Comunidad	Andalucía
Localidad	Córdoba
Dirección	Calle Sanz Nogueer, nº 7

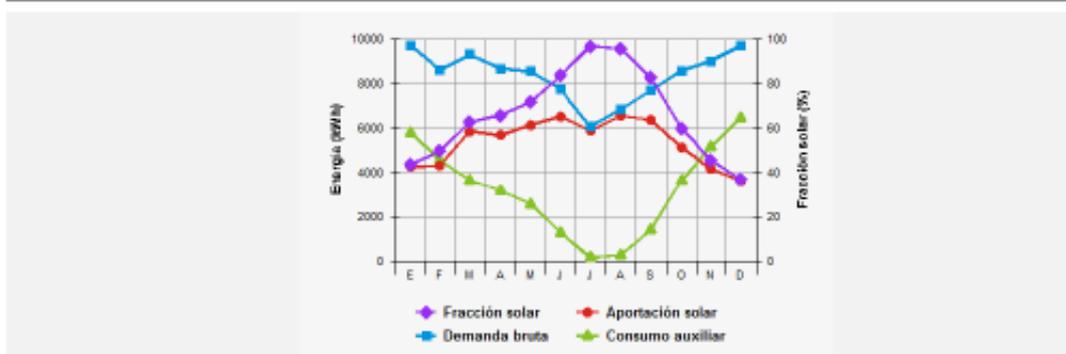
Datos del autor	
Nombre	Marta Hernández Torres
Empresa o institución	
Email	
Teléfono	

Características del sistema solar



Localización de referencia	Córdoba (Córdoba)											
Altura respecto la referencia [m]	3											
Sistema seleccionado	Instalación con consumo múltiple totalmente centralizada											
Demanda [l/día a 60°C]	3.360											
Ocupación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	100	100	100	100	100	100	80	90	100	100	100	100

Resultados



Fracción solar [%]	64
Demanda neta [kWh]	62.512
Demanda bruta [kWh]	100.835
Aporte solar [kWh]	64.885
Consumo auxiliar [kWh]	38.465
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	14.006

Figura 67. Certificado de cumplir con el CTE (pág. 1)



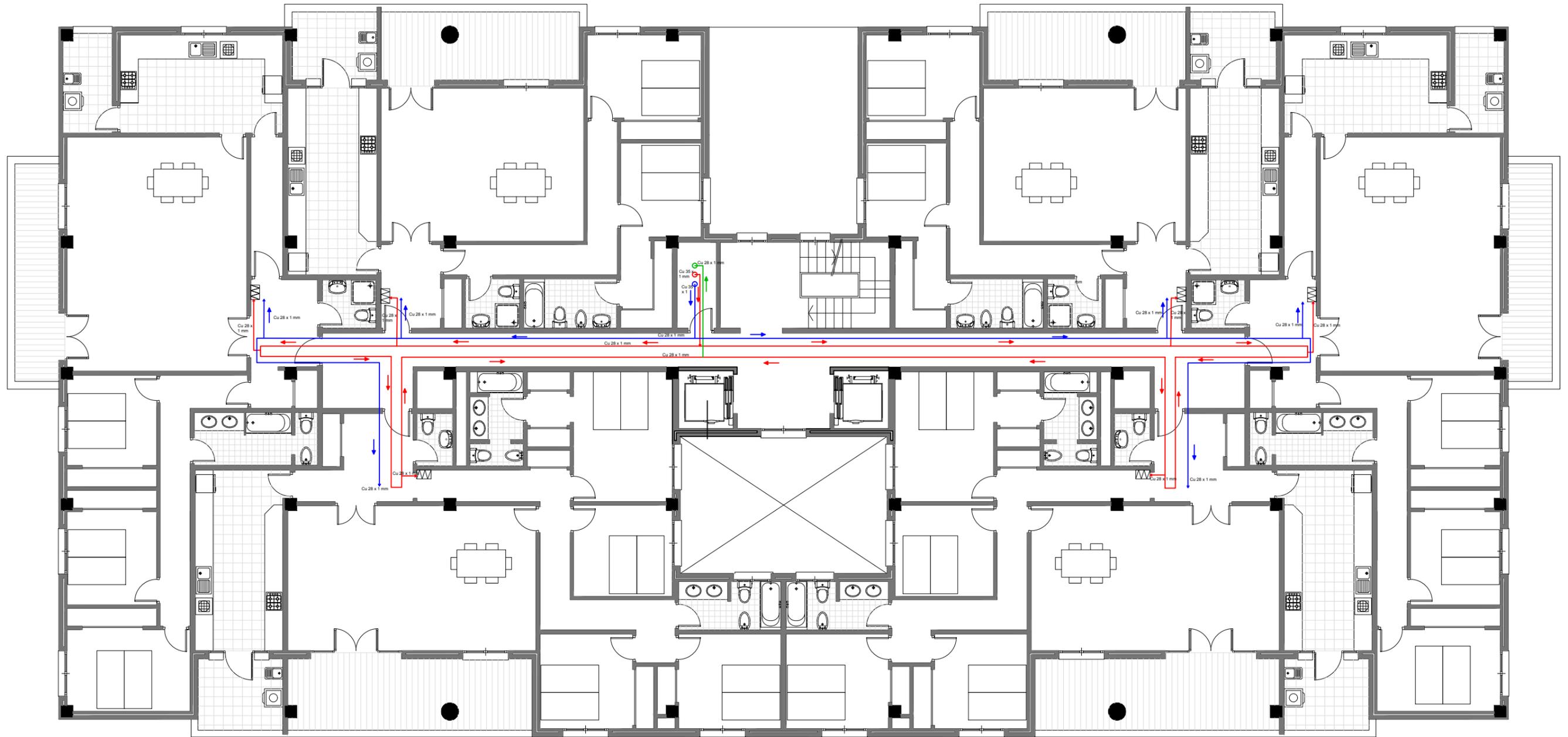
La instalación solar térmica especificada **CUMPLE** los requerimientos mínimos especificados por el HE4

Parámetros del sistema		Verificación en obra
Campo de captadores		
Captador seleccionado	ESCOSOL CPC ML 3.0 TINOX PLUS (Salvador Escoda)	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS-8414 - Verificar vigencia	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	24,0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	1,0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0,0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	0,0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	35,0	<input type="checkbox"/>
Circuito primario/secundario		
Caudal circuito primario [l/h]	3.204,0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	30,0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	100,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	29,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	40,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	espuma de poliuretano	<input type="checkbox"/>
Sistema de apoyo		
Tipo de sistema	Caldera convencional	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gas natural	<input type="checkbox"/>
Acumulación		
Volumen [l]	4.000,0	<input type="checkbox"/>
Distribución		
Longitud del circuito de distribución [m]	45,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	40,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	30,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	espuma de poliuretano	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	55,0	<input type="checkbox"/>
Distribución subestaciones		
Longitud del circuito de distribución [m]	300,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	26,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	25,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	espuma de poliuretano	<input type="checkbox"/>

Figura 68. Certificado de cumplir con el CTE (pág. 2)

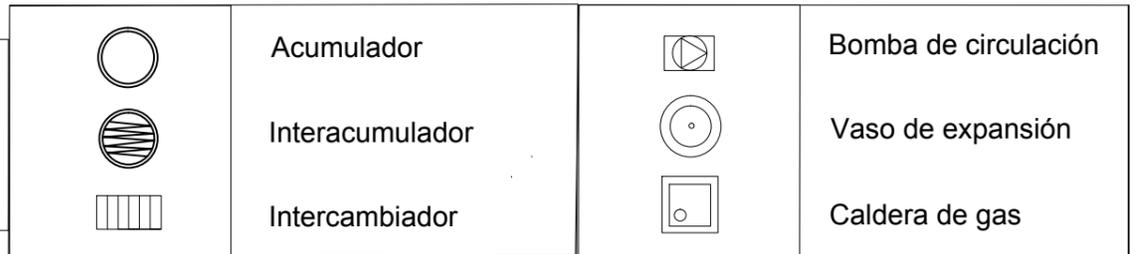
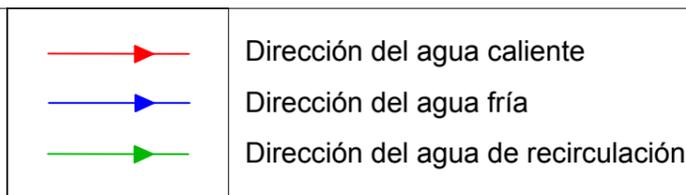
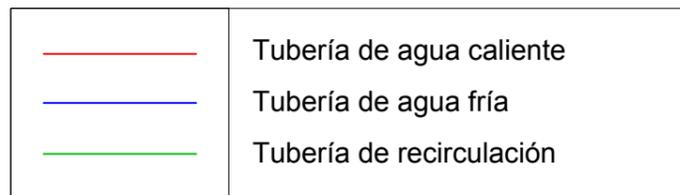
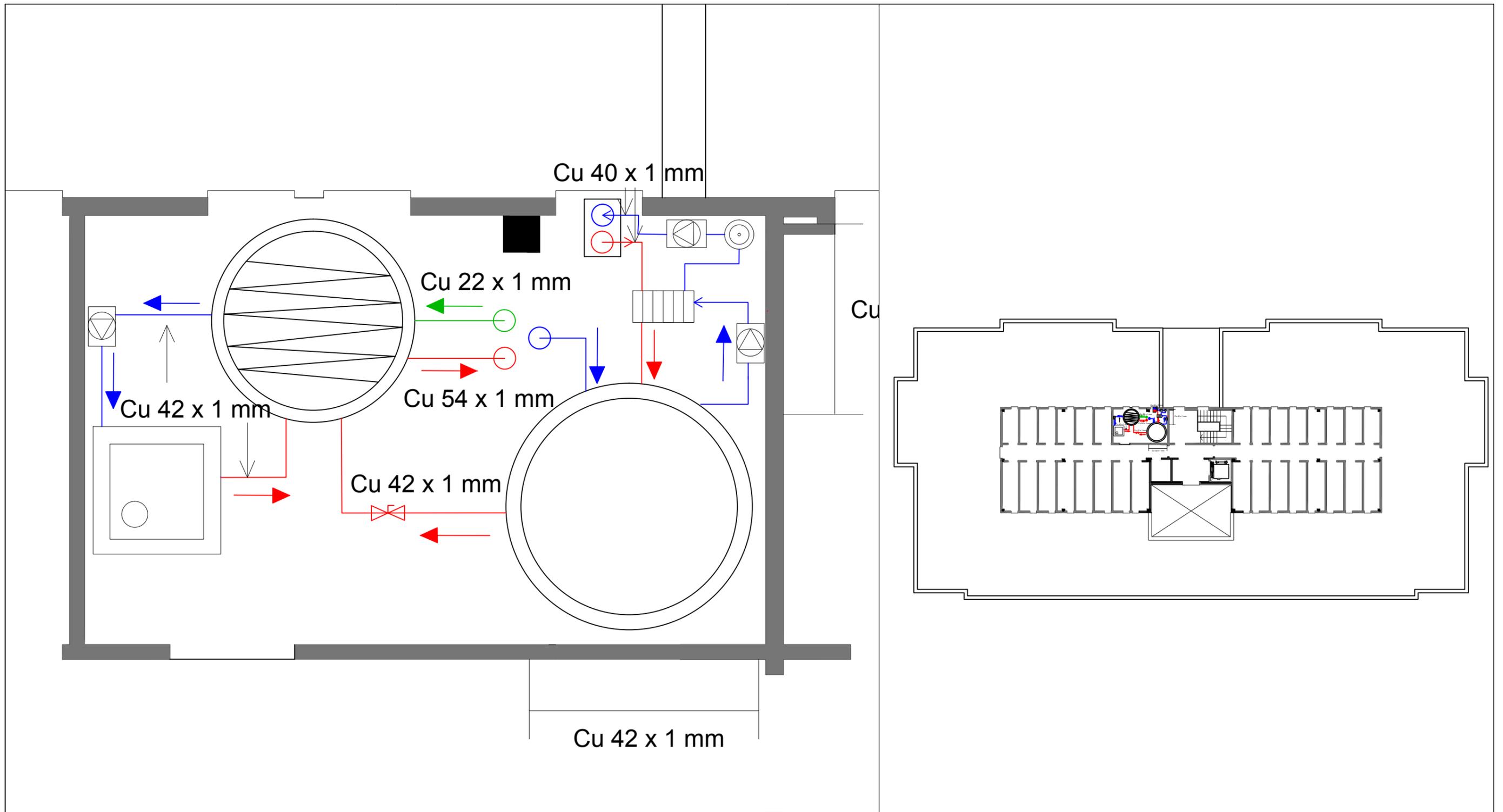
PLANOS

- 1 DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS EN UNA PLANTA TIPO
- 2 DISTRIBUCIÓN DE LA SALA DE MÁQUINAS
- 3 DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS Y CAPTADORES EN LA CUBIERTA
- 4 DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS Y ELEMENTOS DEL SISTEMA EN EL PLANO LATERAL IZQ.
- 5 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN CON TODO CENTRALIZADO

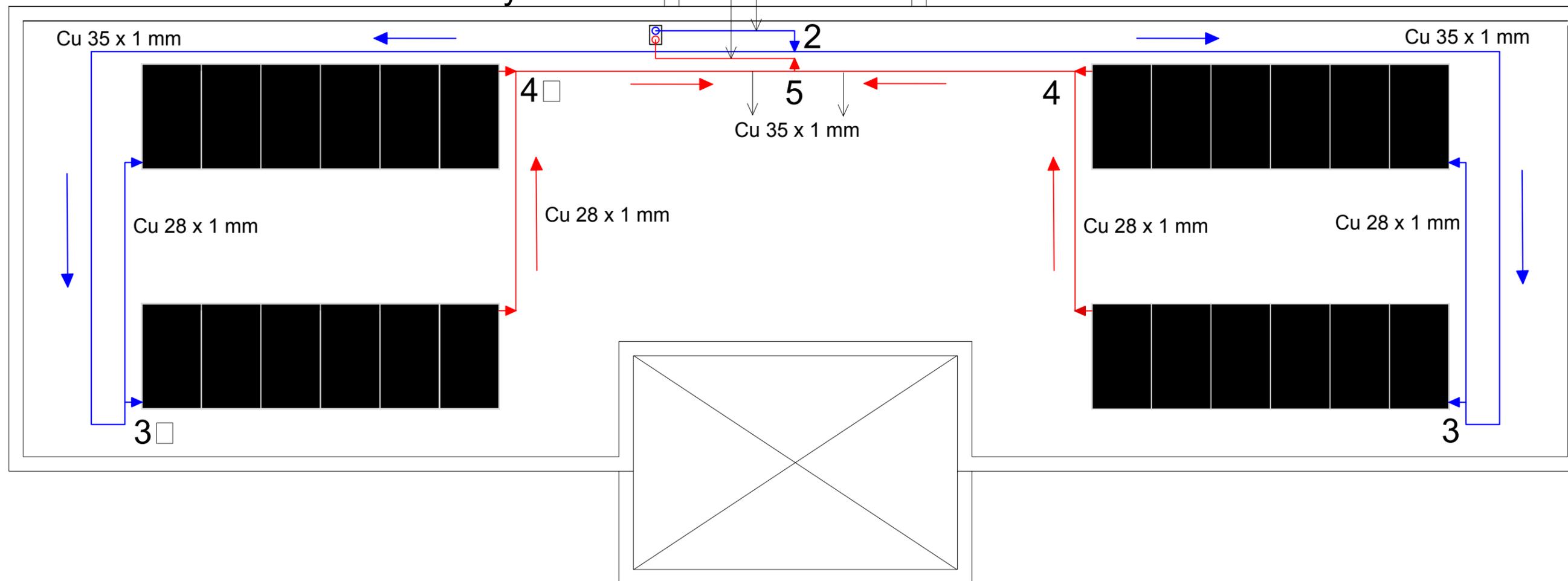


PLANTA TIPO

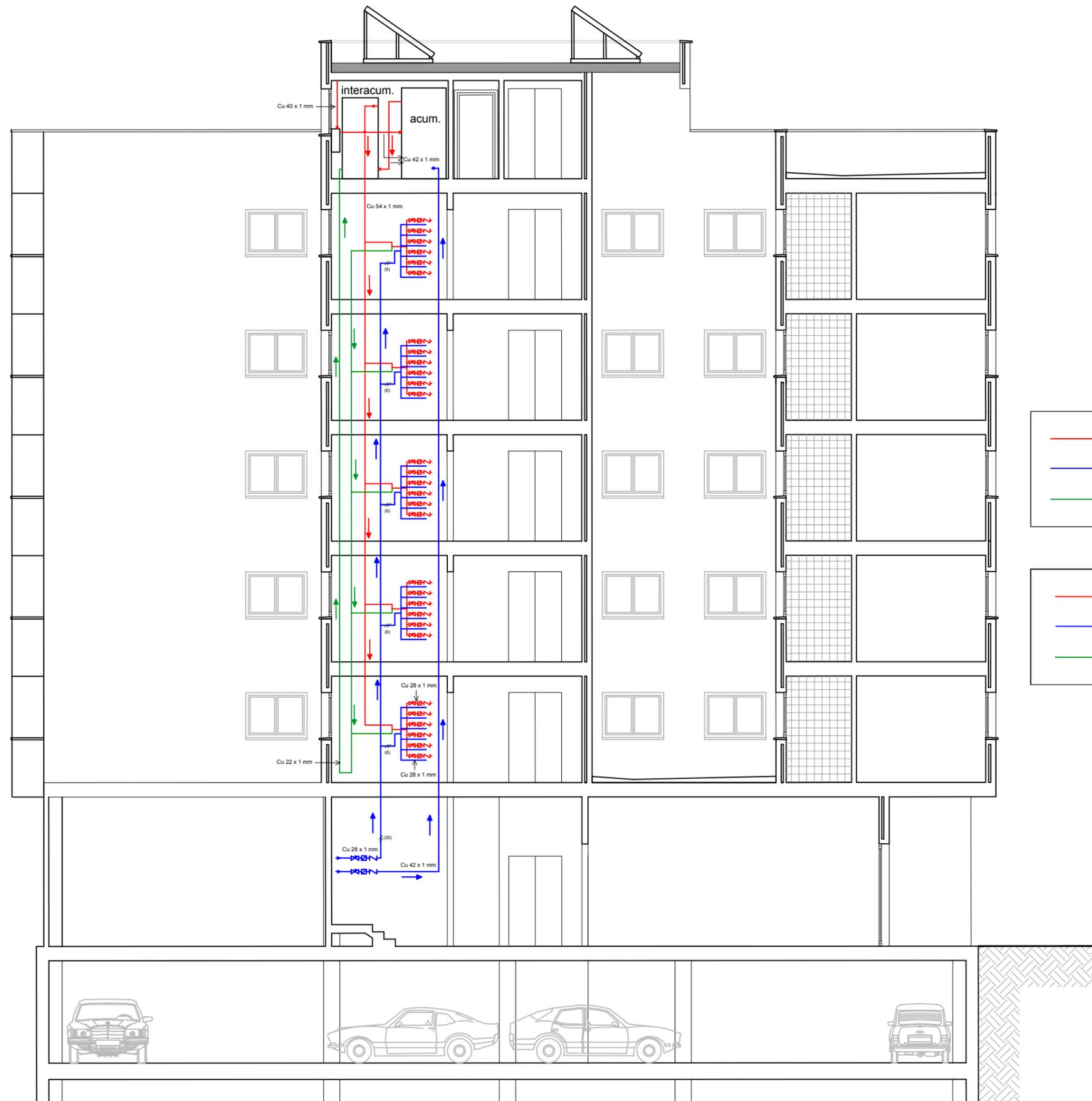
	Tubería de agua caliente		Dirección del agua caliente		Contador de Agua Caliente Sanitaria
	Tubería de agua fría		Dirección del agua fría		
	Tubería de recirculación		Dirección del agua de recirculación		



(intercambiador)
1 y 6

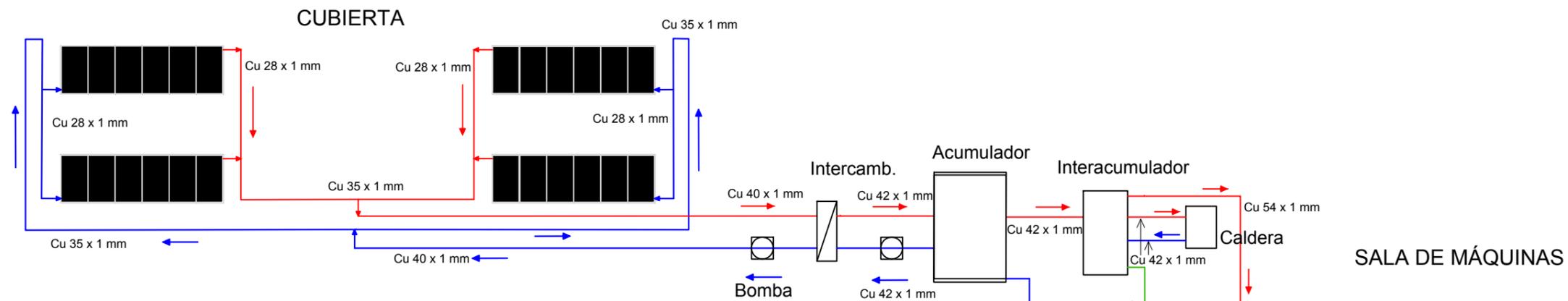


	Tubería de agua caliente		Dirección del agua caliente
	Tubería de agua fría		Dirección del agua fría



	Tubería de agua caliente
	Tubería de agua fría
	Tubería de recirculación

	Dirección del agua caliente
	Dirección del agua fría
	Dirección del agua de recirculación



SALA DE MÁQUINAS

QUINTA PLANTA

SEGUNDA PLANTA

PRIMERA PLANTA



