

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

Diseño de una instalación solar térmica para calentamiento de agua caliente sanitaria en una residencia de mayores.

Autor: Eloy José García Rodríguez

Tutor: José Julio Guerra Macho

Dep. Ingeniería Energética. Grupo de Termotecnia
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

**Diseño de una instalación solar térmica para
calentamiento de agua caliente sanitaria en una
residencia de mayores.**

Autor:

Eloy José García Rodríguez

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático

Dep. Ingeniería Energética. Grupo de Termotecnia.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Trabajo fin de grado: Diseño de una instalación solar térmica para calentamiento de agua caliente sanitaria en una residencia de mayores.

Autor: Eloy José García Rodríguez

Tutor: José Julio Guerra Macho

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

*A mi familia, por haberme
apoyado en todo.*

*A mis amigos, por estar
siempre ahí.*

*A mis compañeros de clase,
con los cuales he compartido
esta experiencia.*

*A todos y cada uno de mis
profesores. Mención especial
tengo que hacer a mi tutor, José
Julio Guerra Macho, quien me
ha guiado en este trabajo.*

Gracias a todos

RESUMEN

El siguiente trabajo trata el estudio y dimensionado de una instalación solar térmica de baja temperatura para calentamiento de ACS. El diseño de dicha instalación se ha realizado para la residencia de mayores Claret de Sevilla. Este documento consta de cinco documentos básicos: Memoria descriptiva, Memoria de cálculo, Pliegos de condiciones técnicas y administrativas, Presupuesto y Planos. La función de cada documento básico queda definida por su propio nombre, no obstante, se dedica un breve apartado al inicio de cada documento para especificar su cometido. En dicho trabajo se ha utilizado la herramienta CHEQ4, herramienta desarrollada por el IDAE y la ASIT para la validación del cumplimiento de la contribución solar mínima. Con dicha herramienta se han realizado una serie de curvas donde se puede observar las prestaciones de la instalación cuando se varía el volumen de acumulación, la superficie de captación, o ambos. El sistema completo y cada uno de sus componentes han sido dimensionados respetando la normativa vigente, cumpliendo en todo momento con el CTE.

ÍNDICE

RESUMEN	vii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
NOTACIÓN	xiii
MEMORIA DESCRIPTIVA	1
1-INTRODUCCIÓN	3
2-ANTECEDENTES	5
3-MÉTODO DE CÁLCULO	8
4-DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	16
5-DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	19
6-CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS.....	23
7-NORMATIVA	28
8-BIBLIOGRAFÍA.....	30
MEMORIA DE CÁLCULO.....	31
1-INTRODUCCIÓN	33
2-DATOS DE PARTIDA	33
3-CÁLCULO DE LA DEMANDA	39
4-DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN	42
5-CÁLCULO DEL VOLUMEN DE ACUMULACIÓN	52
6-CÁLCULO DE LOS EQUIPOS DE INTERCAMBIO	52
7-CÁLCULO DE LA RED DE TUBERÍAS.....	55
8-DIMENSIONADO DE LA BOMBA DE CIRCULACIÓN.....	59
9-DIMENSIONADO DEL VASO DE EXPANSIÓN	64
10-CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO	69
11-RESULTADO FINAL EN CHEQ4	71
12-SISTEMA DE CONTROL Y REGULACIÓN	72
ANEXOS	75
PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS	85
1-OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	87
2-NORMATIVA APLICABLE Y DE CONSULTA	87
3-SEGURIDAD EN EL TRABAJO.....	88
4-COMPONENTES	89
5-CONDICIONES DE MONTAJE	97
6-PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y RECEPCIÓN.....	102
7-MANTENIMIENTO	107
8-GARANTÍA.....	111
MEDICIONES Y PRESUPUESTO.....	113
PLANOS.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico del consumo de energía primaria mundial. Fuente BP	3
Figura 2: Pestaña “LOCALIZACIÓN” en CHEQ4.....	9
Figura 3: Pestaña “CONFIGURACIÓN” en CHEQ4.....	10
Figura 4: Pestaña “DEMANDA” en CHEQ4	11
Figura 5: Pestaña “SOLAR/APOYO” en CHEQ4.....	12
Figura 6: Aislantes en la base de datos de CHEQ4	13
Figura 7: Pestaña “OTROS PARÁMETROS” en CHEQ4.....	14
Figura 8: Pestaña “RESULTADOS” en CHEQ4	15
Figura 9: Coordenadas Geográficas.....	16
Figura 10: Fachada principal de la residencia Claret.....	17
Figura 11: Imagen satélite de la cubierta del edificio	18
Figura 12: Esquema unifilar de la instalación.....	22
Figura 13: Detalle interior captador. Tipo serpentín.....	23
Figura 14: Detalle interacumulador MASTER INOX MXV SS2B	24
Figura 15: Detalle bomba Wilo Violine IPL.....	25
Figura 16: Dimensiones de la bomba Wilo Violine IPL 32/105-0,75/2	26
Figura 17: Detalle regulador diferencial de temperatura Sorel LTDC	27
Figura 18: Mapa de zonas climáticas según el CTE	34
Figura 19: Demanda energética graficada	41
Figura 20: Características básicas del captador seleccionado.....	42
Figura 21: Detalle de la forma de la cubierta y su orientación	43
Figura 22: Azimut y ángulo de inclinación. Fuente: IDAE.....	45
Figura 23: Gráfico para estimación de pérdidas por orientación e inclinación. Fuente: IDAE.....	46
Figura 24: Distancia “d” entre filas de captadores. Fuente: IDAE.....	47
Figura 25: Resultados obtenidos para V=8.000 litros	49
Figura 26: Resultados obtenidos para V=10.000 litros	49
Figura 27: Resultados obtenidos para V=12.000 litros	50
Figura 28: Circulación del fluido portador por interacumuladores.....	53
Figura 29: Trazado de tuberías en el primario y circulación del fluido portador	56
Figura 30: Pérdida de carga en captador	60
Figura 31: Pérdida de carga en interacumulador	61
Figura 32: Gráfico para elección de bomba	62
Figura 33: Detalle vaso de expansión 80 litros.....	68
Figura 34: Gráfica de resultados en CHEQ4	71
Figura 35: Resultados tabulados en CHEQ4	71
Figura 36: Detalle regulador diferencial LTDC.....	73
Figura 37: Peso de cada subsistema en el presupuesto.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características captador Vitosol 200-FM SV2F.....	24
Tabla 2: Características interacumulador MXV-5000 SS2B.....	25
Tabla 3: Características de la bomba Wilo Violine IPL 32/105-0,75/2.....	26
Tabla 4: Características del regulador diferencial LTDC.....	27
Tabla 5: Pérdidas máximas permitidas.....	28
Tabla 6: Espesores mínimos de aislamiento según RITE.....	29
Tabla 7: Datos de irradiación y temperatura.....	35
Tabla 8: Parámetros necesarios para el cálculo de la irradiación sobre superficie inclinada.....	36
Tabla 9: Irradiación diaria media mensual sobre superficie inclinada (H_i).....	38
Tabla 10: Demandas de ACS según el HE4-CTE.....	39
Tabla 11: Contribución solar mínima en %.....	40
Tabla 12: Demanda energética por mes.....	41
Tabla 13: Pérdidas máximas permitidas en %.....	44
Tabla 14: Potencia intercambiada en los serpentines en función de ΔT	54
Tabla 15: Puntos de congelación en función del % de propilenglicol.....	55
Tabla 16: Característica de los diferentes tramos de la red.....	57
Tabla 17: Resultados obtenidos para cada tramo del circuito.....	58
Tabla 18: Pérdidas de carga en los diferentes caminos de la red de tuberías.....	59
Tabla 19: Tabla para selección precisa de bomba.....	63
Tabla 20: Cálculo del volumen de fluido en la red de tuberías.....	65
Tabla 21: Valores del coeficiente de expansión para diferentes temperaturas.....	66
Tabla 22: Espesores mínimos de aislante según RITE.....	69
Tabla 23: Espesor mínimo de aislamiento para tuberías por el interior.....	69
Tabla 24: Espesor mínimo de aislamiento para tuberías por el exterior.....	70
Tabla 25: Operaciones en el plan de vigilancia.....	108
Tabla 26-A: Operaciones preventivas en el sistema de captación.....	109
Tabla 26-B: Operaciones preventivas en el sistema de acumulación.....	109
Tabla 26-C: Operaciones preventivas en el sistema de intercambio.....	109
Tabla 26-D: Operaciones preventivas en el sistema hidráulico.....	110
Tabla 26-E: Operaciones preventivas en el sistema eléctrico y de control.....	110
Tabla 26-F: Operaciones preventivas en el sistema auxiliar.....	110
Tabla 27: Presupuesto total.....	127

NOTACIÓN

CTE: Código Técnico de la Edificación.

HE-CTE: Documento básico: Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación.

HE4-CTE: Sección 4 del documento básico HE: Contribución solar mínima de ACS.

ACS: Agua caliente sanitaria.

RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

ASIT: Asociación Solar de la Industria Térmica.

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología.

GEI: Gases de efecto invernadero.

CO₂: Dióxido de carbono.

H: Irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal.

H_D: Componente directa de H.

H_d: Componente difusa de H.

H_i: Irradiación global diaria media mensual sobre superficie inclinada.

T_{RED}: Temperatura media mensual del agua de red.

T_{AMB}: Temperatura media mensual ambiente.

D_{ACS}: Demanda de agua caliente sanitaria.

Q: Demanda energética.

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. INTRODUCCIÓN.

1.1- Justificación del uso de energías renovables.

Desde la Revolución Industrial, el consumo de energía en el mundo no ha dejado de crecer. Hoy día el uso de la energía forma parte de nuestra vida y la mayoría de nosotros no puede concebir un mundo sin el empleo de éstas.

En el transcurso de la Primera Revolución Industrial la fuente de energía más importante fue el carbón. Durante la Segunda Revolución Industrial el carbón siguió siendo la fuente de energía más utilizada, sin embargo, a ella se unieron la electricidad y el petróleo.

Hoy día, también tenemos a nuestra disposición formas de energía alternativas (o renovables) como la eólica, la fotovoltaica, la energía solar térmica de alta, media y baja temperatura, biomasa, etc. También tenemos a nuestra disposición la energía nuclear de fisión. Aun así, la mayor parte del consumo mundial de energía sigue cubriéndose por medio de combustibles fósiles con los problemas que ello lleva asociados: Por una parte, lo perjudicial que resultan estos combustibles para el medio ambiente. Todos somos conscientes del alarmante incremento de los GEI desde la época preindustrial, en concreto el CO₂ ha aumentado casi un 150% desde entonces. Por otro lado, la naturaleza de estos combustibles los hace limitados y por tanto, está claro que en un futuro (tarde más o menos en llegar dicho día), no podremos contar con ellos. En la siguiente figura podemos ver el consumo de energía primaria a nivel global.

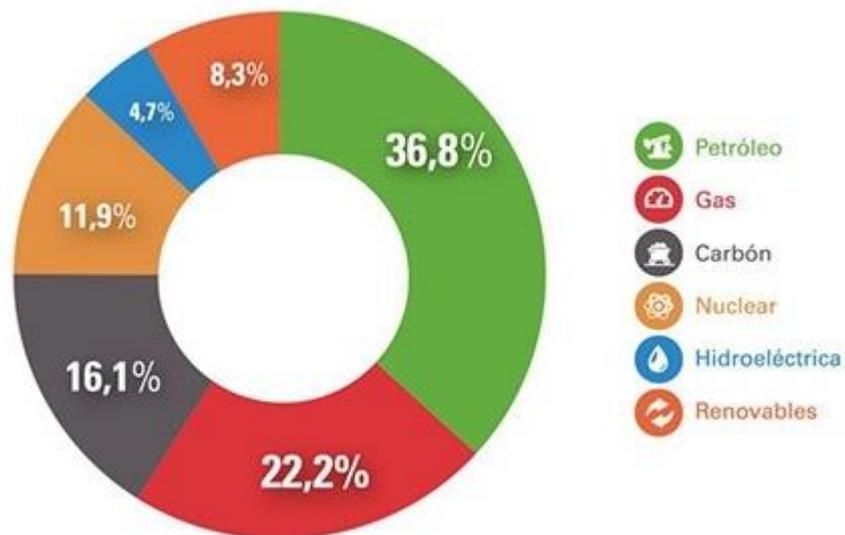


Figura 1: Gráfico del consumo de energía primaria mundial. Fuente: BP

En el horizonte se vislumbra el empleo renovable del hidrógeno y la fusión nuclear. Sin embargo, al estar éstas todavía en fase de desarrollo, su implantación a gran escala todavía está lejos de solventar la problemática actual.

Por tanto, en el momento actual que nos encontramos, parece ser que una alternativa válida para contrarrestar los problemas antes mencionados, son las energías renovables. De hecho, los dirigentes políticos ya están intentando tomar medidas desde hace tiempo. En 1990, dominaba la preocupación por el incremento continuado de GEI debido a la quema indiscriminada de combustibles fósiles. En 1997 se firmó un acuerdo internacional entre los países más desarrollados llamado el protocolo de Kioto, en el que se establecía una reducción del 20% de los GEI respecto a las emisiones de 1990, un 20% de reducción en el consumo de energía primaria respecto a 1990 a través de sistemas de conversión más eficientes, así como un 20% de la demanda energética cubierta por energías renovables, todo esto para 2020. La realidad es que no se están cumpliendo los objetivos, es más, en algunos países no solo no se han reducido dichas emisiones, sino que han aumentado.

El implementar y fomentar este tipo de tecnologías limpias y renovables debe ser una tarea de nuestros gobernantes. Pero todos debemos aportar nuestro granito de arena para intentar lograr en el futuro un planeta limpio y sostenible.

1.1- Objeto del proyecto

El objeto del presente trabajo es el de dimensionar una instalación solar térmica de baja temperatura para calentamiento de ACS en una residencia de mayores, ubicada en Sevilla. Se dimensionará cada uno de sus componentes y se tomarán soluciones en base a un buen funcionamiento de la instalación, siempre cumpliendo con la normativa vigente. Todo el diseño se ha llevado a cabo cumpliendo el CTE y el RITE.

Con este tipo de instalaciones, las cuales están bien implantadas en el panorama tecnológico actual, se está contribuyendo a una reducción en el consumo de combustibles fósiles, así como a la reducción en las emisiones de GEI que dicha disminución de consumo lleva asociado.

En la presente memoria se describirá el edificio, los diferentes componentes utilizados en la instalación, así como el método de cálculo utilizado. También se hará mención de la normativa más relevante que debe respetarse.

2. ANTECEDENTES.

El uso de la energía solar se puede remontar a épocas muy antiguas donde la agricultura no podría concebirse sin la utilización constante de la energía del sol, pero siendo más específicos y considerando el uso de la energía solar mediante mecanismos más elaborados podríamos remontarnos al siglo VII AC donde las sacerdotisas vestales romanas encargadas de mantener “la llama eterna” que ardía en el Templo de Vesta, encendían el fuego con espejos cóncavos que reflejaban la luz solar. Un uso para fines bélicos le dio Arquímedes en el año 212 AC, donde cuenta la leyenda que consiguió repeler un ataque romano a la ciudad de Siracusa prendiendo fuego a varios barcos por medio de una serie de espejos que se encargaban de concentrar y reflejar la radiación solar. Muchos años más tardes, Leonardo da Vinci, el gran hombre del renacimiento, también pensó como utilizar el Sol. En el año 1515 comenzó uno de sus proyectos, que nunca llegaría a acabar, del cual se tiene conocimiento solo a partir de las notas que dejó. Su idea era construir un concentrador de 6 km de diámetro a base de espejos cóncavos, con finalidad también militar.

A continuación se mencionará alguno de los inventos y aspectos más importantes que han ayudado al desarrollo o han condicionado de alguna forma la tecnología solar térmica de baja temperatura.

Un hecho fundamental en la historia de la energía solar térmica la protagonizó el naturalista Suizo Horace de Saussure en 1767 cuando inventó lo que él denominó “caja caliente”. Saussure era conocedor del efecto invernadero que se produce en todo espacio cerrado que cuenta con una apertura acristalada por donde entra la radiación solar y decidió potenciar al máximo el efecto para comprobar hasta que temperaturas se lograba alcanzar. Para ello dispuso una caja acristalada con el interior pintado de negro. Todas las caras, excepto la acristalada, contaban con una capa de aislante que retenía el calor producido en su interior. El resultado fue que con su caja caliente logró alcanzar temperaturas de hasta 109 °C. Horace de Saussure había inventado el colector solar que tendrá una determinante repercusión en el desarrollo de la energía solar térmica de baja temperatura. A partir de su invento surgirán todos los desarrollos posteriores de calentadores solares de agua de placa plana que se han proporcionado agua caliente a millones de personas en el mundo.

Siglo XIX.

A lo largo del siglo XIX, para el calentamiento del ACS y como alternativa a los costosos y a veces peligrosos calentadores de gas o carbón, surgió la idea en Estados Unidos de dejar contenedores pintados de negro expuestos al sol para que se calentasen. Sin embargo para obtener agua caliente suficiente se requería de días muy soleados y en cuanto llegaba la noche el agua se enfriaba muy rápidamente.

El siguiente paso en la evolución, y desde el punto de vista comercial, la primera patente de invento para calentar agua con el sol de una manera más eficaz, se dio en 1891 cuando Clarence Kemp sacó al mercado en Estados Unidos el calentador de agua “Climax”. Este método combinaba el modelo de los tanques expuestos al sol con el principio de la caja caliente. Así se conseguía más agua caliente, a mayores temperaturas y que se conservara por más tiempo. Este sistema alcanzó una notable expansión en las regiones soleadas de Estados Unidos.

Siglo XX

Un hecho trascendental para la industria solar térmica a baja temperatura tuvo lugar a principios del Siglo XX cuando en 1909 William Bailey patentó su modelo de calentador solar para agua. Este modelo superaba los inconvenientes que ofrecía el Climax ya que era capaz de mantener el calor ganado durante toda la noche, siendo posible disfrutar del agua caliente solar a la mañana siguiente. El sistema tenía separado el área de calentamiento solar y el del almacenaje. Consistía en una serie de tuberías adheridas a una placa de color negro en el interior de una caja caliente. El agua circulaba por las tuberías y al ser calentada por el sol se movía por convección hacia un depósito aislado colocado en la parte alta del calentador. Este mismo esquema es el que hoy día se sigue usando en los calentadores solares termosifónicos. Las claras ventajas que ofrecía el modelo de calentador solar de Bailey acabaron por desbancar al Climax en poco tiempo.

Este nuevo sistema se expandió rápidamente por los soleados estados del sur de Estados Unidos en pocos años. Sin embargo, el descubrimiento de recursos gasísticos entre los años 20 y 40 en el subsuelo de California terminó con la industria solar del calentamiento de agua en ese estado. Por el contrario en Florida, el clima tropical y el “boom” urbanístico propiciaron una gran difusión de este sistema por unos años más. En 1941 más de la mitad de la población del estado de Florida calentaba su agua con sistemas solares térmicos.

Lamentablemente tras la II Guerra Mundial la bajada de precios de la electricidad junto a las agresivas campañas de la empresa eléctrica local, en las que se llegaban casi a regalar calentadores eléctricos de agua, propiciaron el colapso de la industria solar también en Florida.

Por otro lado, fuera de los Estados Unidos, se asiste a una expansión de los sistemas solares para el calentamiento del agua. En los países industrializados con buenos niveles de radiación solar, los calentadores solares aparecían como una opción más para calentar el agua entrando directamente en pugna comercial con los sistemas de calentamiento que empleaban los combustibles fósiles o la electricidad producida por ellos.

El desarrollo de la competencia dependía básicamente del precio de los combustibles fósiles. Cuando el precio de estos era bajo la venta de sistemas solares se detenía y los sistemas fósiles tomaban la delantera ayudados por el mayor poder de las grandes industrias extractoras de recursos energéticos, capaces de emprender agresivas campañas para captar clientes. Sin embargo cuando estallaban crisis políticas que traían aparejadas boicots de suministro de petróleo y gas, las ventas de equipos solares se disparaban. Buena prueba de ello fueron las crisis energéticas de los años 70 donde se asistió a una nueva fase de expansión de los calentadores solares.

Un ejemplo claro de lo expuesto lo supone Japón, que tras la segunda guerra mundial vio florecer también su industria solar térmica para el calentamiento de agua. En los años sesenta imperaba en Japón un modelo de calentador solar de agua que llegó a alcanzar un notable éxito. Consistía en un recipiente grande térmicamente aislado de color negro en su interior el cual se llenaba de agua y que estaba cubierto por una superficie transparente.

El esquema de funcionamiento de estos modelos japoneses era semejante al del Climax estadounidense y como este, tenían el defecto de que perdía el calor almacenado durante la noche. Afortunadamente la costumbre japonesa de tomar baños con agua caliente después de una jornada de trabajo al final del día, coincidía con el momento óptimo de mayor disponibilidad de agua caliente en este tipo de sistemas solares.

En los años 60 Japón tuvo acceso a los recursos fósiles del oriente medio, lo que hizo colapsar la industria solar. Sin embargo las crisis del 73 y del 79 con la subida de los precios de los combustibles volvió a reactivar el mercado de los calentadores de agua solares cuyos modelos ya eran semejantes a los de William Bailley en EE.UU. Afortunadamente la bajada y estabilización de los precios de los combustibles fósiles en los años 80 no logró esta vez acabar con la industria de los calentadores solares en Japón, que aún se mantiene hasta la fecha.

Un caso particular lo supone Israel que debido a su situación política y a sus múltiples conflictos con las naciones limítrofes suministradores de petróleo, ha basado el calentamiento del agua doméstico en los calentadores solares. Así y sobre todo a raíz de la guerra de Yom Kipur en Octubre de 1973 y del boicot de los países árabes, Israel se volcó en la producción de calentadores solares para uso doméstico. Esto provocó que en 1983 el 60 % de la población contara con uno de ellos. Algunos años más tarde esa cifra se elevaría al 90 %.

En la década de los 90 una nueva conciencia medioambientalistas toma fuerza y diversos organismos locales en diversas partes del mundo subvencionan y ofrecen ayudas para la instalación de sistemas de energías renovables así como de sistemas solares térmicos.

En el año 1999 el ayuntamiento de Barcelona (España) aprobó una iniciativa que obligaba a los edificios nuevos o remodelados a la instalación de sistemas solares térmicos para calentar el agua sanitaria. Se trata esta de la primera iniciativa de estas características aplicada en una gran ciudad europea. Su éxito sirvió de ejemplo a múltiples normativas similares que se aplicaron en Europa y en el mundo y que contribuyeron a que la instalación de sistemas de calentamiento solar siguiera aumentando.

Siglo XXI

En el S XXI asistimos claramente al despegue definitivo de las energías renovables y de la energía solar térmica que responde a varios factores.

Por un lado los precios de los combustibles fósiles se han vuelto inestables y con una tendencia general al alza. Esta situación contrasta con la constante bajada de costos de las energías renovables. En un futuro no muy lejano se habla de que las energías renovables podrán competir en costos con las fuentes de energías convencionales.

Por otro lado también resurge la conciencia de que los combustibles fósiles se agotarán y de que es necesario contar con una alternativa lo suficientemente desarrollada como para poderlos sustituir a corto-medio plazo.

Por ultimo no hay que olvidar el impacto de la contaminación humana y de las emisiones de CO₂ a la atmósfera que provocan un aumento del efecto invernadero y de la inestabilidad en los patrones climáticos. Para enfrentar este grave problema surgen políticas para la reducción de emisiones de CO₂ que favorece la expansión de las energías renovables y de la solar térmica.

3. MÉTODO DE CÁLCULO

3.1- Procedimiento.

Como procedimiento de cálculo se ha optado por utilizar la herramienta CHEQ4. Dicha herramienta nos permite conocer las prestaciones de la instalación variando sus parámetros. Se obtendrán diferentes puntos de funcionamiento variando la superficie de captación y el volumen de acumulación, lo que dará lugar a varias curvas donde se podrán visualizar el comportamiento del sistema. Una vez obtenidas las curvas, se fijarán los parámetros anteriores (superficie de captación y volumen de acumulación) atendiendo al rendimiento de la instalación, configuración de los captadores, coste, etc. En todo caso la elección tomada debe cumplir con la normativa vigente.

3.2- Herramienta CHEQ4.

¿Qué es CHEQ4?

CHEQ4 es una herramienta para validar el cumplimiento de la contribución solar mínima de ACS en instalaciones solares térmicas, determinado conforme a la sección HE4-CTE. Con esta aplicación, el IDAE y ASIT quieren ofrecer a todos los actores implicados en labores de control y verificación del cumplimiento de la contribución solar mínima en instalaciones solares térmicas, así como a los propios diseñadores, una forma rápida y precisa de comprobar el correcto dimensionado de dichas instalaciones.

Esta herramienta desarrollada por AIGUASOL, utiliza como motor la metodología de cálculo Metasol. Metasol es una metodología de cálculo basada en curvas obtenidas a partir de los resultados de más de 69.000 simulaciones dinámicas realizadas con TRANSYS. Todas las configuraciones de CHEQ4 han sido modelizadas en detalle con TRANSYS y simuladas posteriormente para una gran variedad de escenarios. Finalmente, mediante un complejo tratamiento estadístico, se han determinado cuales eran las variables más significativas y se ha podido obtener un total de 14 curvas, dos por configuración, que permiten predecir las ganancias y las pérdidas de cada uno de los sistemas. Gracias a este proceso, es posible obtener una gran precisión. Una ventaja de esta herramienta, es que a diferencia de otros métodos de cálculo basados en curvas, CHEQ4 está especialmente diseñado para las tipologías de instalaciones más habituales y la climatología de nuestro país.

Algo importante a tener en cuenta, es que los resultados del programa únicamente serán válidos, si se utiliza la última versión del programa disponible y la base de datos está correctamente actualizada. El usuario es responsable de comprobar que dispone de la última versión del programa y de la base de datos.

A continuación se hablará un poco de las diferentes pestañas del programa, así como de los datos más importantes que debemos introducir en cada una de ellas.

Localización:

En CHEQ4 todos los parámetros ambientales y climatológicos del sistema se definen en la pestaña “Localización”. El usuario únicamente debe seleccionar una localización para la instalación (provincia y municipio) y su altura absoluta respecto del nivel del mar. Automáticamente, el programa mostrará la zona climática a la que pertenece dicho municipio (según HE4-CTE), su latitud y su altura de referencia. El programa también mostrará una tabla con los siguientes datos: Irradiación global media mensual sobre superficie horizontal (según Atlas de Radiación Solar en España de la AEMET), temperatura diaria media mensual del agua de red (según UNE 94002) y temperatura ambiente diaria media mensual (según UNE 94003).

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

RSIT   IDAE

Provincia Municipio Zona climática Latitud

Mapa provincia

Altura municipio seleccionado (m)

Altura de la instalación (m)

	Rad(MJ/m2)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Enero			
Febrero			
Marzo			
Abril			
Mayo			
Junio			
Julio			
Agosto			
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			
Promedio			

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Datos proyecto Nuevo proyecto Abrir proyecto Guardar proyecto Ayuda Acerca de... Salir

Figura 2: Pestaña “Localización” en CHEQ4.

Configuración:

La pestaña “Configuración” permite al usuario seleccionar el tipo de instalación que más se ajuste al sistema que desea validar. Internamente CHEQ4 seleccionará las curvas Metasol correspondientes a dicha instalación y cuáles son los parámetros que la definen.

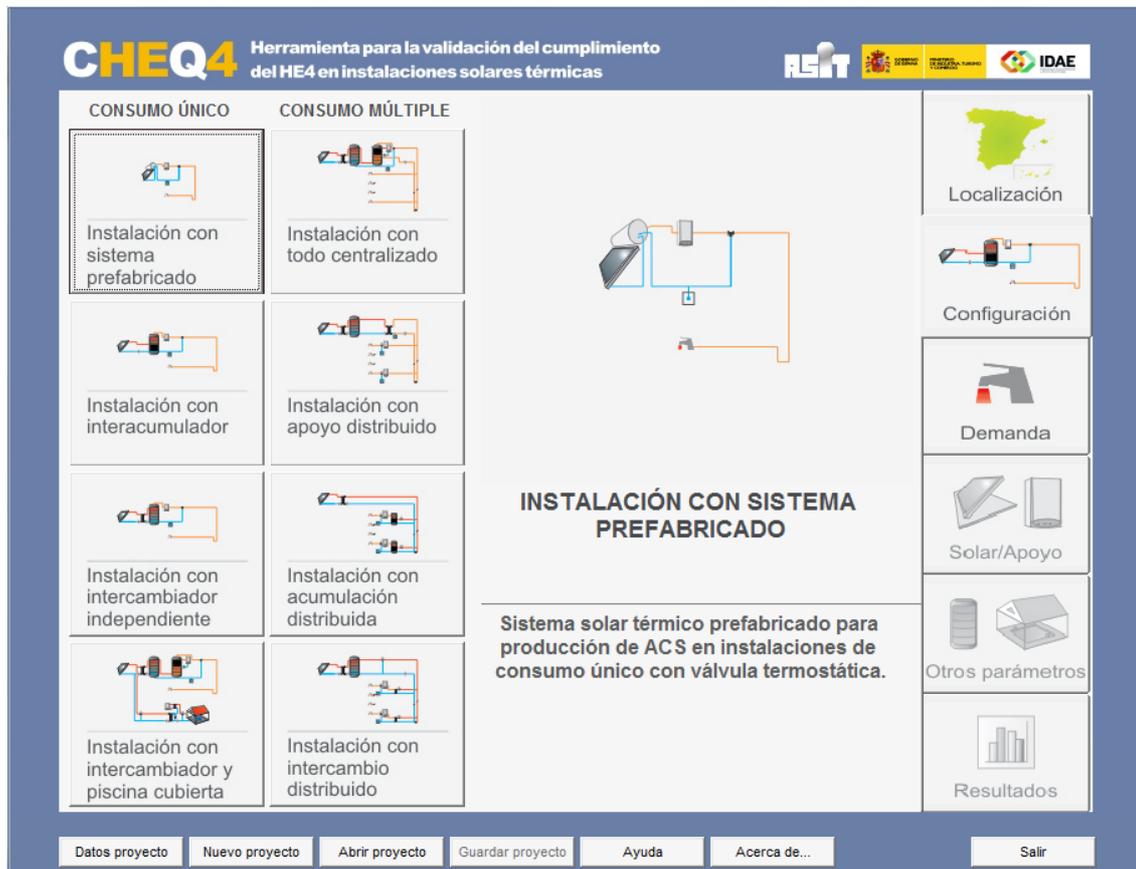


Figura 3: Pestaña “Configuración” en CHEQ4.

Las diferentes configuraciones disponibles se encuentran agrupadas según sean para consumo único o para consumo múltiple.

Para consumo único:

- Instalación para consumo único con sistema prefabricado.
- Instalación para consumo único con interacumulador.
- Instalación para consumo único con intercambiador independiente.
- Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta.

Para consumo múltiple:

- Instalación para consumo múltiple con todo centralizado.
- Instalación para consumo múltiple con acumulación centralizada y apoyo distribuido.
- Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida.
- Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido.

Demanda:

En la pestaña “Demanda”, el usuario debe especificar la demanda total de ACS del edificio. Los parámetros necesarios variaran en función de si se trata de una instalación de consumo único o de consumo múltiple.

Para el caso que nos ocupa (consumo único,) el cálculo de la demanda se realiza en función de cual sea su tipo de aplicación final (según HE4-CTE). El usuario solo debe seleccionar el tipo de aplicación y el número de elementos de dicha aplicación.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

ASIT   

CONSUMO ÚNICO

Aplicación

Número de...

Demanda calculada (l/día a 60 °C)

CONSUMO MÚLTIPLE

	Viviendas	Dormitorios	Personas	Litros/día
Tipo A	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Tipo B	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Tipo C	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
Tipo D	<input type="text"/>	<input type="text"/>		

Demanda calculada (l/día a 60 °C)

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C)

Demanda total (l/día a 60°C)

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

Caso general FS 0%

Caso piscina FS 70%

OCUPACIÓN ESTACIONAL (%)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
100	100	100	100	100	100
Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
100	100	100	100	100	100

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Datos proyecto Nuevo proyecto Abrir proyecto Guardar proyecto Ayuda Acercas de... Salir

Figura 4: Pestaña “Demanda” en CHEQ4.

En el apartado “consumo total”, se pueden especificar otras demandas diarias que no se hayan podido incluir en alguno de los apartados anteriores. Dicho valor se sumará directamente al valor calculado en los apartados anteriores. También es posible especificar el porcentaje de ocupación mensual de la instalación.

Llegados a este punto, CHEQ4 ya es capaz de determinar automáticamente cuál ha de ser el requerimiento de contribución solar mínima exigido por el HE4-CTE. En el apartado “Contribución solar mínima exigida” se muestra dicho valor.

Solar/Apoyo:

En la pestaña “solar/apoyo” el usuario debe especificar todos aquellos parámetros que son comunes a todos los tipos de configuraciones.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

CAPTADORES

Empresa

Marca/Modelo

Datos de ensayo

Área (m2)	n0 (-)	a1 (W/m2K)	a2 (W/m2K2)	Qtest(l/hm2)	k50	Laboratorio	Certificación

CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores Captadores en serie Pérdidas sombras (%)

Orientación (°) Inclinación (°) Área total captadores (m2)

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 combustibles

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Datos proyecto Nuevo proyecto Abrir proyecto Guardar proyecto Ayuda Acerca de... Salir

Figura 5: Pestaña “Solar/Apoyo” en CHEQ4.

Captadores: En el apartado “captadores”, el usuario debe seleccionar el captador concreto que figure en el proyecto o que bien desea utilizar en su instalación. CHEQ4 incorpora una extensa base de datos con muchos de los captadores homologados que actualmente existen en el mercado. El usuario únicamente debe especificar la empresa comercializadora del producto y su modelo. Automáticamente, se mostrarán los principales datos correspondientes al captador seleccionado.

Campo de captadores: En el apartado “campo de captadores”, el usuario debe introducir los siguientes datos:

- Número de captadores: Número de unidades de captadores que se han proyectado para la instalación solar térmica.
- Número de captadores en serie: Número total de captadores en serie por los que tiene que circular el fluido caloportador, ya sea en la misma o en diferentes baterías. Si no hay paneles en serie el valor introducido será 1.
- Pérdidas por sombreadamiento (%): Porcentaje de pérdidas anuales por sombreadamiento.
- Orientación (°): Orientación del campo de captadores respecto el eje norte-sur (considerando el este como negativo y el oeste como positivo).
- Inclinación (°): Inclinación del campo de captadores respecto de la horizontal.

Circuito primario/secundario: En este apartado el usuario debe introducir los siguientes datos:

- Caudal del circuito primario o caudal de campo (l/h): El programa especifica, por defecto, un valor en función del caudal de test, el número total de captadores y el número de captadores en serie. No obstante, el usuario puede definir dicho valor directamente, dentro de un rango establecido respecto el valor original predefinido.
- Anticongelante (%): Tanto por ciento de anticongelante en el fluido caloportador.
- Longitud equivalente del circuito primario (m): Longitud total del circuito primario, incluyendo impulsión y retorno. En la mayoría de los casos, los circuitos hidráulicos no están constituidos por un único diámetro. Para facilitar los cálculos, el programa incorpora una herramienta "Cálculo de la longitud del circuito equivalente". El usuario debe especificar el número de tramos, sus diámetros interiores (mm), el espesor de aislante (mm) y la longitud de cada tramo (m).
- Espesor (mm) y tipo de aislante utilizado: El programa dispone de una base de datos con las conductividades térmicas de los principales materiales aislantes.

lambda (W/m·K)	Denominación
0.043	genérico
0.036	lana de vidrio
0.037	poliestireno
0.038	lana mineral
0.024	espuma de poliuretano
0.042	espuma elastomérica
0.054	silicato de calcio
0.038	espuma de polietileno

Figura 6: Aislantes en la base de datos de CHEQ4

Sistema de apoyo: En CHEQ4 el usuario puede seleccionar los siguientes sistemas de Sistema de apoyo:

- Caldera convencional (gas natural, gasóleo o GLP).
- Caldera de condensación (gas natural, gasóleo o GLP).
- Caldera de baja temperatura (gas natural, gasóleo o GLP).
- Caldera de biomasa (biomasa).
- Caldera eléctrica (electricidad).

Otros parámetros:

En la pestaña “otros parámetros” el usuario debe especificar aquellos parámetros que son propios de cada configuración.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

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

PISCINA CUBIERTA

Altura (m) Temp. ambiente (°C)

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

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

Humedad relativa (%) Ocupación (pers/m²)

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

Localización

Configuración

Demanda

Solar/Apoyo

Otros parámetros

Resultados

Datos proyecto Nuevo proyecto Abrir proyecto Guardar proyecto Ayuda Acerca de... Salir

Figura 7: Pestaña “Otros parámetros” en CHEQ4.

Volumen de acumulación: Sólo es necesario especificar un único valor para definir el volumen total en litros de la instalación formada por uno o varios acumuladores solares centralizados. El usuario debe tener en cuenta que se cumpla la restricción dada por el HE4-CTE:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Donde:

V: Volumen total de acumulación (litros).

A: Área total de captación (m²).

Distribución: El circuito de distribución agrupa todas las tuberías situadas a partir de la sala de máquinas (normalmente después del acumulador, en el caso de que exista) y distribuyen el ACS hasta el punto de consumo y, en su caso, recirculan.

Para definir el circuito de distribución es necesario especificar la longitud total de las tuberías (impulsión y retorno o recirculación en su caso), el diámetro interior de la tubería (mm), el tipo de aislante y su espesor (mm). Al igual que en el circuito primario, existe a disposición del usuario la herramienta “Cálculo de longitud equivalente”.

Resultados:

La última pestaña de CHEQ4 corresponde al cálculo y visualización de los resultados. Al acceder a esta pestaña, el programa calcula las ganancias y pérdidas de la instalación especificada siguiendo la metodología de cálculo Metasol.

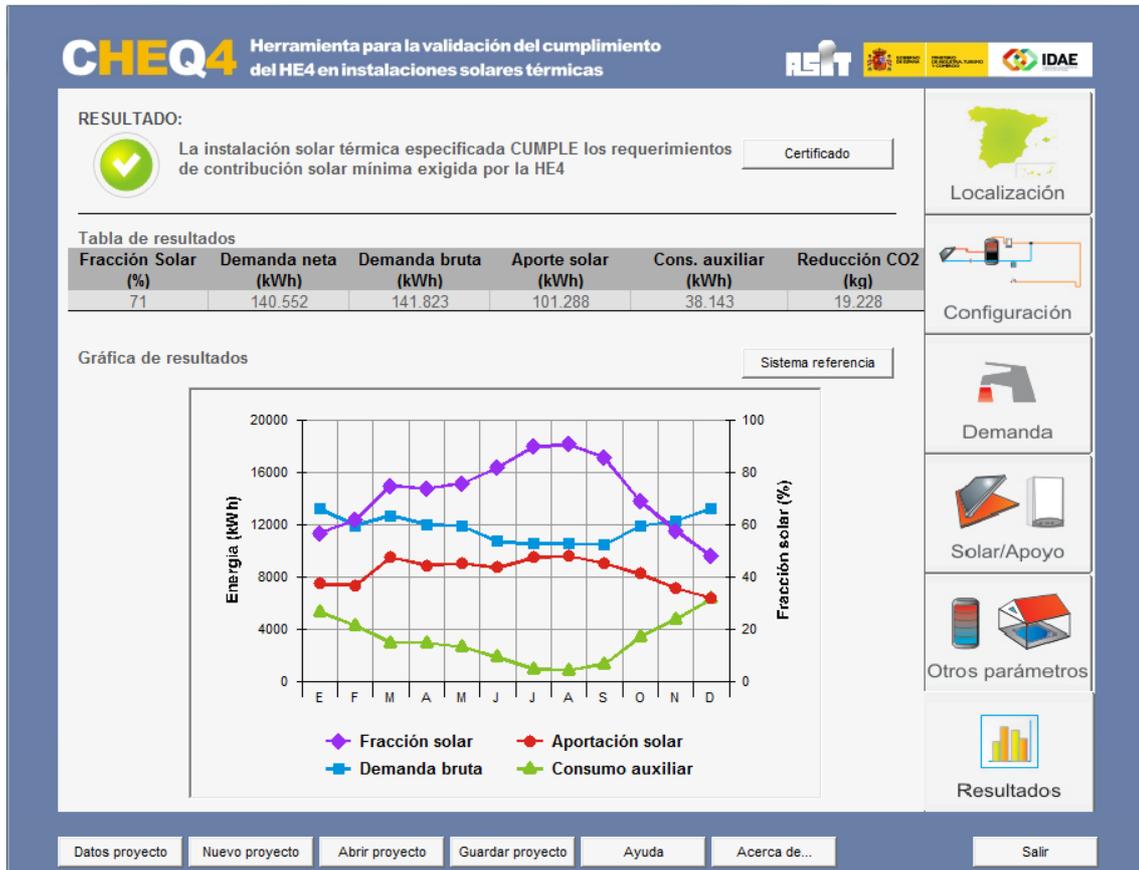


Figura 8: Pestaña “Resultados” en CHEQ4.

Un indicador situado en la parte superior izquierda de la ventana permite al usuario conocer rápidamente si el sistema especificado cumple o no cumple mediante este procedimiento los requerimientos de contribución solar mínima exigida por el HE4-CTE.

En el apartado “Tabla de resultados” se muestran los valores anuales de los siguientes indicadores y resultados:

- Fracción solar (%): Tanto por ciento de la demanda energética total anual que es cubierta por la instalación solar.
- Demanda neta (KWh): Demanda energética anual sin tener en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Demanda bruta (KWh): Demanda energética anual teniendo en cuenta las pérdidas en acumulación y en distribución.
- Aportación solar al sistema (KWh): Energía aportada por la instalación solar.
- Consumo de energía primaria auxiliar (kWh): Energía aportada por la instalación auxiliar de apoyo para satisfacer la demanda total.
- Reducción de las emisiones de CO₂ (Kg): Reducción de CO₂ debido a la instalación solar.

4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.

4.1- Coordenadas geográficas. Referencia.

Se va a incluir aquí un breve apartado para aclarar el convenio de signos que se está tomando en lo que a las coordenadas geográficas se refiere.

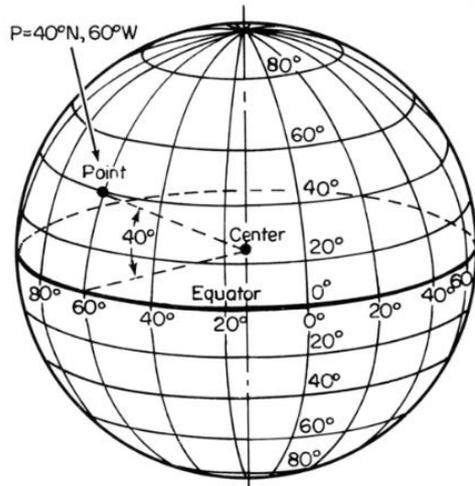


Figura 9: Coordenadas Geográficas

Latitud: Es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el Ecuador. El Ecuador se toma como línea de base, y le corresponde la latitud 0° . Todos los puntos que estén ubicados en el mismo paralelo les corresponde la misma latitud. Todos aquellos que se encuentren al sur del Ecuador, reciben la denominación Sur (con signo negativo), y aquellos que se encuentren al Norte del Ecuador, reciben la denominación Norte (con signo positivo). La latitud es un valor comprendido entre 0° y 90° .

Longitud: Es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera y el Meridiano de Greenwich. El Meridiano de Greenwich se toma como línea de base, y corresponde a la longitud 0° . Todos los puntos ubicados sobre el mismo meridiano tienen la misma longitud. Aquellos puntos que se encuentren al oriente de dicho meridiano reciben la denominación Este (con signo positivo), y todos los puntos ubicados al occidente reciben denominación Oeste (con signo negativo). La longitud es un valor entre 0° y 180° .

4.2- Ubicación del edificio.

El edificio se encuentra en la calle San Antonio María de Claret número 10, en Sevilla (Latitud=37,359º y Longitud=-5,984º). Está en Heliópolis, entre la avenida de la Palmera y Reina Mercedes. Su fachada principal se encuentra ubicada hacia el norte, por tanto, los captadores solares se orientarán en dirección contraria.

4.3- Descripción del edificio.

Se trata de una residencia de mayores (Residencia para mayores Claret). Dicho complejo está pensado para dar alojamiento a 177 residentes en habitaciones dobles e individuales. Consta de sótano, cuatro plantas (planta baja, primera, segunda y tercera) y la cubierta de dicho edificio, que es donde se instalarán los captadores solares.



Figura 10: Fachada principal de la Residencia Claret.

En la planta baja se encuentra la zona de recepción y zonas habilitadas para ocio, además de otros recintos con funciones específicas. En las otras tres plantas se encuentran las habitaciones de los residentes y otras habitaciones con funciones determinadas (salas de control de enfermería, comedores, etc.). Cada habitación dispone de baño individual y equipamiento con camas articuladas, teléfonos, televisión, etc.

La cubierta dispone de una superficie libre de unos 1.200 m², por lo que hay espacio suficiente para la ubicación de los captadores. En la cubierta se encuentra la caldera convencional y la sala de máquinas. Sin embargo, el depósito de acumulación se encuentra ubicado en el sótano. Las características de los componentes de dicha instalación convencional se especifican más adelante, en el apartado “descripción de la instalación” de este documento.

En la figura 11, podemos ver una imagen satélite de la cubierta del edificio. Decir que dicho edificio ya posee una instalación solar. Para este trabajo académico, se supondrá que sólo dispone de la instalación convencional y se dimensionarán todos los componentes de la instalación solar térmica de baja temperatura.



Figura 11: Imagen satélite de la cubierta del edificio.

5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.

La instalación es de tipo centralizada y está compuesta de cinco sistemas: Sistema de captación, sistema de acumulación, sistema hidráulico, sistema de energía auxiliar y sistema de control.

5.1- Sistema de captación.

El sistema de captación es el encargado de captar la radiación solar incidente y transformarla en energía térmica aumentando la temperatura del fluido caloportador que circula por dicho sistema.

La instalación consta de 12 baterías con 6 captadores en paralelo cada una. En total hay instalados un total de 72 captadores, lo que da lugar a un área de captación de 180,72 m². La conexión de las baterías es una conexión serie-paralelo (Para más detalle ir al documento “planos” y ver el plano de cubierta donde se puede observar dicha conexión). La orientación de los captadores es orientación sur y su inclinación es de 45°. La separación entre filas de baterías es de 3,84 m para evitar pérdidas por sombra. La separación entre baterías de la misma fila es de 1,5 m para disponer de espacio suficiente para las tareas de reparación y mantenimiento.

5.2- Sistema de acumulación.

En una instalación solar térmica, las curvas de producción y demanda están desfasadas. Para compensar dicho desfase se instalan uno o varios depósitos de acumulación que mantengan la energía generada hasta el momento de su consumo.

El sistema de acumulación dispone de 2 interacumuladores de las mismas características. La misión de estos interacumuladores es doble, por un lado transferir la energía al ACS por medio del intercambiador interno y por otro almacenarla hasta su consumo. Cada interacumulador tiene una capacidad de acumulación de 5.000 litros y dispone de un doble serpentín con una superficie de intercambio de 15 m². Por tanto, en total se tiene un volumen de acumulación de 10.000 litros y una superficie de intercambio de 30 m². La conexión de ambos depósitos es en serie favoreciendo así la estratificación de temperaturas

5.3- Sistema hidráulico.

El sistema hidráulico es el encargado de transportar el fluido caloportador desde el sistema de captación hasta el sistema de acumulación. Debe disponer de todos los componentes y dispositivos para realizar su función correctamente.

Se han instalado tuberías de cobre de diferentes diámetros atendiendo al caudal que circula por cada tramo y se han aislado convenientemente con coquillas de espuma elastomérica de espesor de 40 mm para las tuberías que van por el exterior y de 30 mm para las que van por el interior respetando las restricciones del RITE. La elección de los diferentes diámetros de tubería se puede ver en la Memoria de cálculo, apartado “Cálculo de la red de tuberías”.

El fluido caloportador es anticongelante. El anticongelante se ha formado con una proporción de 75% de agua y 25% de propilenglicol en volumen. Dicha proporción se ha estimado en base a la temperatura mínima registrada en la ciudad.

Para el transporte del fluido caloportador se han instalado dos bombas idénticas en paralelo, dejando siempre una de reserva. De esta forma en caso de avería de una de las bombas, no hay necesidad de parar la instalación solar. Las bombas seleccionadas son de rotor seco, cada bomba tiene una potencia de 0,75 KW y es capaz de vencer una pérdida de carga de 15 m.c.a cuando por ella circula un caudal de 6 m³/h.

El sistema hidráulico también dispone de un vaso de expansión cerrado de 80 litros para absorber las variaciones de volumen del fluido caloportador debido a la expansión que pueda producirse por los cambios de temperatura.

Además se han instalado:

- a. Válvulas de corte: Se han instalado válvulas de bola para aislar cada uno de los componentes y así poder proceder a las tareas de reparación y mantenimiento sin ningún tipo de problema.
- b. Válvulas de seguridad: Se ha instalado una válvula de resorte en el circuito primario conectada en el vaso de expansión y otra conectada a uno de los interacumuladores solares, ajustadas de tal forma que protejan la instalación contra subidas de presión que puedan dañar algún componente.
- c. Válvulas de retención: En la impulsión de cada bomba se ha instalado una válvula de disco para impedir que el fluido pueda circular en dirección contraria cuando la instalación esté parada y pueda enfriar el ACS ubicada en los interacumuladores.
- d. Purgadores: Se ha instalado un purgador a la salida de cada batería, en las partes altas de la instalación, para eliminar el aire que pueda formarse o entrar al circuito.

5.4- Sistema de energía auxiliar.

Es necesario un sistema de apoyo para complementar a la instalación solar. Dicho sistema se activará por medio de la centralita de control cuando el nivel de radiación solar no sea suficiente para cubrir totalmente la demanda energética exigida por el edificio.

Dicho sistema ya se encuentra instalado en el edificio y consta de los siguientes elementos:

- a. Un módulo de dos calderas de condensación con una potencia total de 140 KW, el cual usa gas natural como combustible. Dicho módulo está ubicado en la cubierta a pocos metros de la sala de máquinas.
- b. Un depósito auxiliar de acumulación con una capacidad de 4.000 litros ubicado en el sótano, en una sala acondicionada para los acumuladores de ACS.
- c. Para la transferencia energética hay instalado un intercambiador de placas entre la caldera y el depósito de acumulación. El intercambiador está ubicado en la sala de máquinas.
- d. Para el transporte de fluido se tienen dos bombas de rotor seco de la marca Wilo, ambas ubicadas en la sala de máquinas junto con el intercambiador de placas. La bomba del circuito cerrado caldera-intercambiador tiene una potencia de 0,37 KW y la bomba del circuito intercambiador-depósito es de 0,75 KW.

5.5- Sistema de control.

El objetivo del sistema de control es regular todo el sistema para que la instalación funcione correctamente, aprovechando el recurso solar lo mejor posible.

Para ello se han instalado dos reguladores diferenciales de temperatura idénticos, uno para controlar la instalación solar y otro para el control del equipo auxiliar.

La centralita reguladora encargada de controlar la instalación solar incluye dos sondas, una a la salida del campo de captadores y otra a la entrada del interacumulador que se encuentra a menor temperatura (al que llega el agua de red). Dicha centralita se puede programar y optar por el convenio de arranque y parada que consideremos más apropiado. Llamando T1 a la temperatura de salida del campo de captadores y T2 a la temperatura de entrada al interacumulador, se ha optado por la siguiente regulación:

- Si $T1 > T2 + 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ la bomba se pone en funcionamiento poniendo la instalación solar en marcha.
- Si $T1 < T2 + 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ la bomba se detiene parando el funcionamiento de la instalación solar.

La centralita reguladora encargada de controlar el equipo auxiliar incluye una sonda ubicada en el depósito auxiliar. Considerando que dicho depósito deberá mantenerse a unos 60 °C aproximadamente, la regulación será la siguiente:

- Si la temperatura del depósito auxiliar baja de los 55 °C, la centralita activa las bombas y la caldera poniendo en funcionamiento el sistema auxiliar.
- Si la temperatura en el depósito alcanza los 60 °C, la centralita para las bombas y la caldera desactivando el sistema auxiliar.

Ambas centralitas actúan mediante relé para activar y desactivar las bombas.

En la figura 12 podemos ver el esquema de principio de la instalación donde se puede observar su funcionamiento.

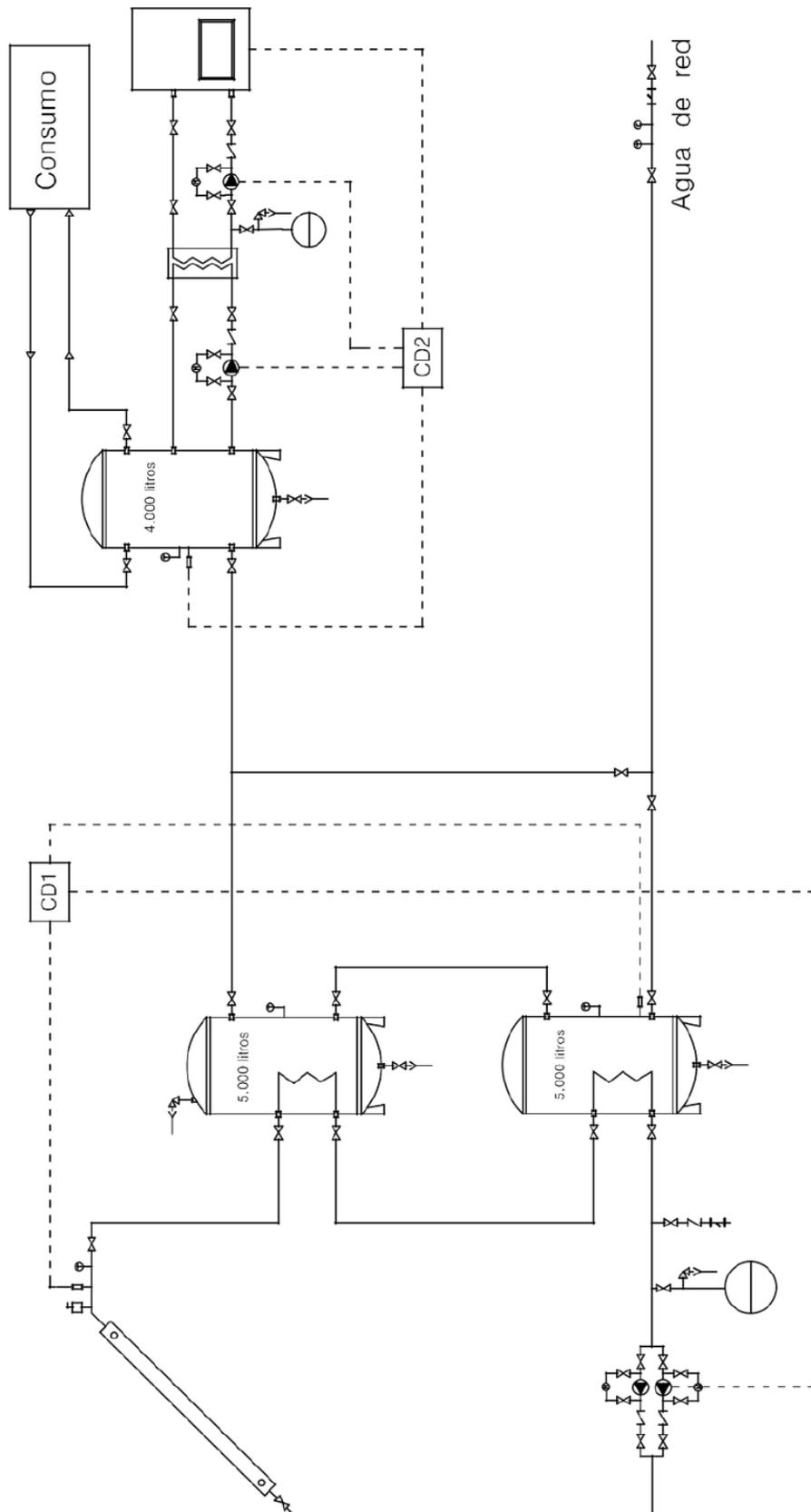


Figura 12: Esquema de principio de la instalación.

6. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS.

6.1- Captador.

Como se ha comentado en el apartado anterior, se instalarán 72 captadores, doce baterías de seis captadores cada una. El captador elegido para la instalación es de la marca Viessmann y figura en la base de datos de la herramienta CHEQ4, en concreto es el modelo Vitosol 200-FM SV2F. El absorbedor de dicho captador dispone de un recubrimiento selectivo, lo que garantiza una gran absorción de la radiación solar. El absorbedor cuenta con un tubo de cobre en forma de serpentín por el que circula el medio portador. El colector cuenta con un alto nivel de aislamiento gracias al cual se minimizan las pérdidas térmicas. También dispone de una lámina de vidrio que se caracteriza por un bajo contenido en hierro, lo cual incrementa la transmisión de la radiación solar. En la figura 13 se puede ver un detalle del captador, en el que puede observarse el tubo de cobre en forma de serpentín y las dimensiones de dicho captador en mm.

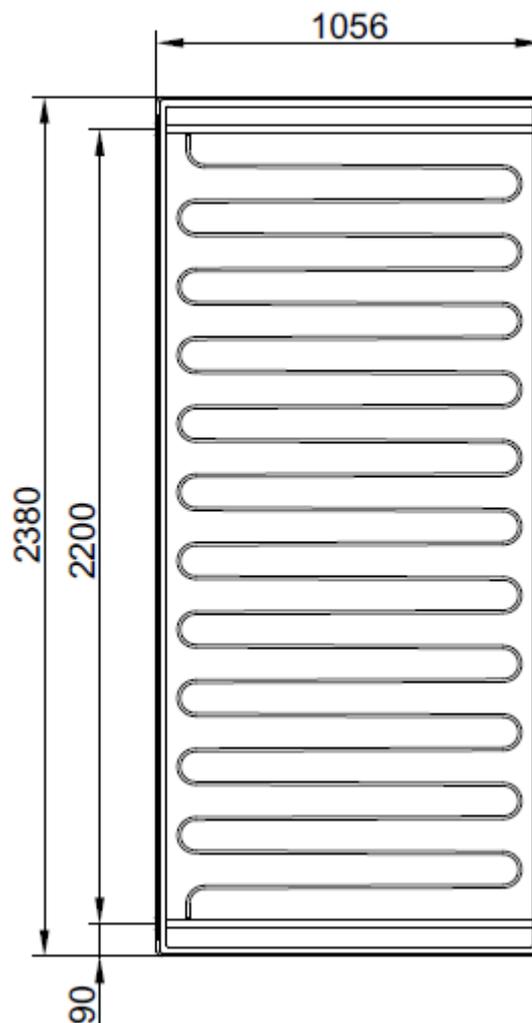


Figura 13: Detalle interior captador. Tipo serpentín.

En la siguiente tabla se muestran las características del captador Viessmann Vitosol 200-FM SV2F:

Superficie bruta (m ²)	2,51
Superficie de absorción (m ²)	2,32
Anchura (mm)	1056
Altura (mm)	2380
Profundidad (mm)	90
Rendimiento óptico (%)*	81,3
Coeficiente de pérdida de calor K1 (W/(m ² ·K))*	3,675
Coeficiente de pérdida de calor K2 (W/(m ² ·K))*	0,037
Peso (Kg)	41
Volumen de fluido (litros)	1,83
Presión de servicio admisible (bar)	6
Máxima temperatura de inactividad del colector (°C)	145
Factor de corrección de ángulo IAM	0,91

Tabla 1: Características captador Vitosol 200-FM SV2F.

*El rendimiento óptico y los coeficientes de pérdida de calor K1 y K2 están referidos a la superficie de absorción.

6.2- Interacumulador.

Los interacumuladores son de la marca Lapesa, se instalarán dos idénticos del modelo MXV-5000 SS2B. Están fabricados en acero inoxidable. Incorporan un sistema de serpentines desmontables, también fabricados en acero inoxidable. El modelo SS2B dispone de una gran superficie de intercambio, lo que lo hace idóneo para un mejor aprovechamiento de la energía procedente de captadores solares. Están aislados térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectada en molde, de 80 mm de espesor.

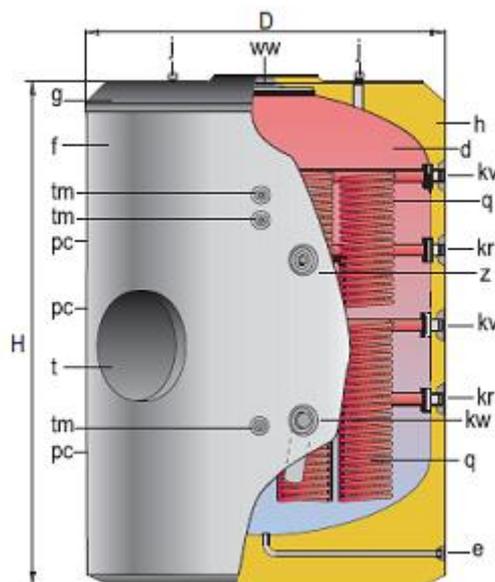


Figura 14: Detalle interacumulador MASTER INOX MXV SS2B.

En la tabla 2 se muestran algunas de las características técnicas más importantes del interacumulador seleccionado:

Capacidad (litros)	5000
D: Diámetro exterior (mm)	1910
H: Altura (mm)	2710
Temperatura máxima depósito ACS (°C)	90
Presión máxima depósito ACS (bar)	8
Temperatura máxima circuito de calentamiento (°C)	120
Presión máxima circuito de calentamiento (bar)	25
Superficie serpentín superior (m ²)	5
Superficie serpentín inferior (m ²)	10
Superficie total serpentín (m ²)	15
Capacidad en serpentines (litros)	84
Peso en vacío aproximado (Kg)	790
Pérdidas estáticas (W)	266

Tabla 2: Características interacumulador MXV-5000 SS2B.

6.3- Bomba de circulación.

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior se instalarán dos bombas iguales en paralelo, dejando una de reserva. La bomba seleccionada es una bomba de rotor seco de la marca Wilo, en concreto el modelo Veroline IPL 32/105-0,75/2. Tiene una potencia de 0,75 KW y es capaz de vencer 15 m.c.a de pérdidas cuando por ella circula un caudal de 6 m³/h. Dispone de una gran protección contra la corrosión gracias a un revestimiento de cataforesis. Lleva orificios de evacuación de condensados incluidos de serie en las carcasas de motor y en las linternas.



Figura 15: Detalle bomba Wilo Viroline IPL.

En la siguiente figura se puede ver un pequeño plano con las dimensiones de la bomba seleccionada:

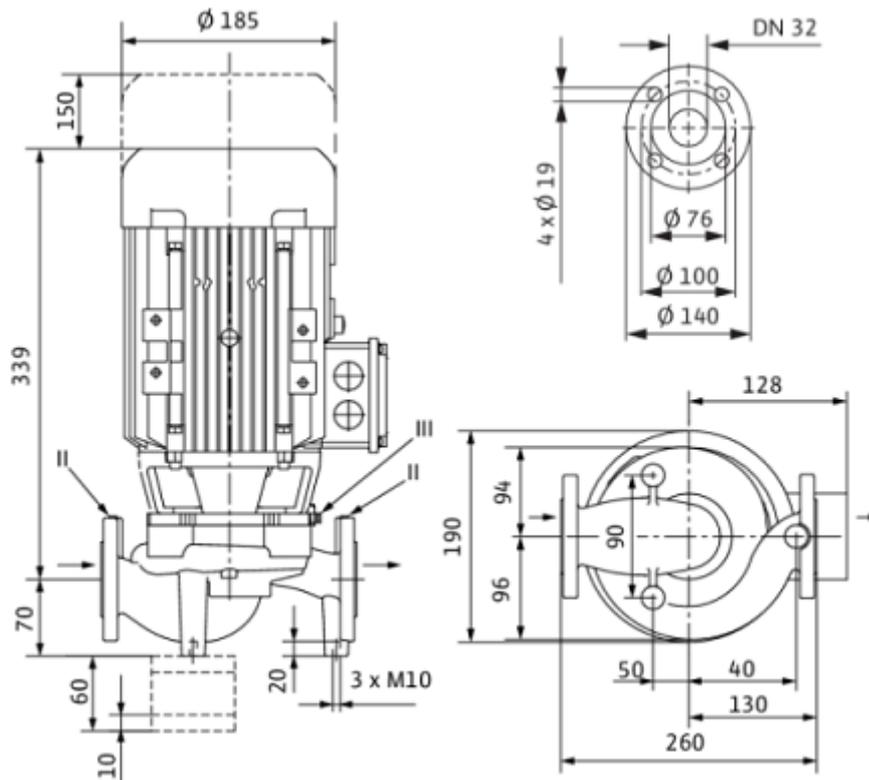


Figura 16: Dimensiones de la bomba Wilo Violine IPL 32/105-0,75/2.

En la tabla 3 se presentan las características más importantes de dicha bomba:

Diámetro nominal de conexión con tubería (mm)	32
Diámetro nominal del rodete (mm)	105
Potencia nominal del motor (KW)	0,75
Número de polos	2
Rango de temperaturas permitido (°C)	-20 °C a 120 °C
Presión máxima de trabajo (bar)	10
Alimentación eléctrica	3~400 V, 50 Hz
Tipo de protección	IP 55
La eficiencia del motor η_m 50% / η_m 75% / η_m 100% (%)	75,4/ 79,3/80,7
Factor de potencia	0,74
Peso aproximado (Kg)	21

Tabla 3: Características de la bomba Wilo Violine IPL 32/105-0,75/2.

6.4- Centralita de control.

Para el control del sistema se utilizarán dos reguladores diferenciales de temperatura iguales de la marca Sorel, en concreto el modelo LTDC. A continuación se presentan sus características.



Figura 17: Detalle regulador diferencial de temperatura Sorel LTDC.

Entradas para Pt1000 sensores	6
Salidas de rele 230	3
Salidas 0.10V o PWM con control de velocidad de bombas de alta eficiencia	2
VFS/RPS sensores	2
Cantidad de esquemas	42
LEDs rojo/verde para mostrar estado	1
Contador de energía simple	Si
Contador de energía por caudal (VFS sensor)	Si
Medición de presión (RPS sensor)	Si
Termostato programable por hora y temperatura	Si
Reloj de tiempo real RTC con batería	Si
Función legionela por solar	Si
Función legionela por energía auxiliar	Si
Función de enfriamiento	Si
Asistente de puesta en marcha	Si
Protección sistema	Si
Protección captador	Si
Protección depósito	Si
Programas para protección contra congelación	Si
Refrigeración nocturna	Si
Ayuda de arranque para tubos de vacío	Si
Programa de control para sistemas Drain-Back	Si
Memoria con estadísticas y evaluaciones	Si
Memoria de errores y evaluación con hora y fecha	Si
Bloqueo del menú	Si
Conexión ethernet con software PC opcional	Si

Tabla 4: Características del regulador diferencial LTDC.

7. NORMATIVA.

Los cálculos y decisiones tomadas se realizarán siempre respetando la normativa aplicable. Se tendrá en cuenta lo que establezca la sección HE4-CTE, el RITE, así como cualquier otra norma a la que debamos acogernos en el dimensionado de un determinado componente de la instalación.

7.1- Cumplimiento del HE4-CTE.

Cumplimiento de la contribución solar mínima anual: La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para ACS, obtenidos a partir de los valores mensuales. El HE4-CTE exige un aporte solar mínimo en función de la zona climática y la demanda total de ACS. En nuestro caso el aporte solar será como mínimo del 70 %. En la memoria de cálculo se demuestra la obtención de dicho valor.

Cumplimiento en materia de producción: El dimensionado de la instalación se realizará teniendo en cuenta que en ningún mes del año la energía producida por la instalación supere el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100%. En el caso de que en algún mes del año la contribución solar pudiera sobrepasar el 100% de la demanda energética se deberán adoptar algunas de las medidas especificadas en el apartado 2.2.2 del HE4-CTE.

Cumplimiento en lo que respecta a pérdidas: En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: las pérdidas por orientación e inclinación, las pérdidas por sombras y las pérdidas totales deberán ser inferiores a los límites estipulados en la siguiente tabla:

Demanda de ACS (l/día)	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

Tabla 5: Pérdidas máximas permitidas.

Cumplimiento del volumen de acumulación: El sistema de acumulación solar se debe dimensionar en función de la energía que aporta a lo largo del día, y no solo en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser esta simultánea con la generación. Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

Donde:

A: Área total de captación (m²).

V: Volumen de la acumulación solar (litros).

Cumplimiento del sistema de intercambio: Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

Generalidades a tener en cuenta en el circuito hidráulico: Debe concebirse inicialmente un circuito hidráulico de por sí equilibrado. Si no fuera posible, el flujo debe ser controlado por válvulas de equilibrado. El caudal del fluido portador se determinará de acuerdo con las especificaciones del fabricante como consecuencia del diseño de su producto. En su defecto su valor estará comprendido entre 1,2 l/s y 2 l/s por cada 100 m² de red de captadores.

7.2- Cumplimiento del RITE.

Cumplimiento en materia de aislamiento: El RITE exige un nivel mínimo de aislamiento en función del diámetro exterior de tubería y el rango de temperaturas del fluido. En cualquier caso el espesor de aislamiento no será inferior de lo que especifique la tabla 6, obtenida de dicha normativa.

Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes y discurren por el interior del edificio			
Diámetro exterior (°C)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50
Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes y discurren por el exterior del edificio			
Diámetro exterior (°C)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Tabla 6: Espesores mínimos de aislante según RITE.

7.3- Norma UNE 100.155.

Dicha instrucción tiene por objeto establecer el procedimiento a seguir para el dimensionado de sistemas de expansión en redes de distribución por las que circula un fluido caloportador (agua o solución de agua-glicol), en circuitos cerrados. Para el cálculo del vaso de expansión se utilizará dicha norma. Los cálculos y resultado se reflejan en la memoria de cálculo.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- 1) Apuntes de la asignatura “Energía solar en la edificación” del Grado de Ingeniería de la Energía.
- 2) Trabajo Fin de Grado de Guillermo Molano González: “Instalación de energía solar para la producción de agua caliente en un edificio de oficinas”.
- 3) Manual de usuario de la herramienta para verificación de la contribución solar mínima CHEQ4.
- 4) Sección HE4 del Código Técnico de la edificación: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- 5) Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).
- 6) Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE): Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.
- 7) Guía ASIT de la Energía Solar Térmica.
- 8) Energías renovables UMA 2010-2011: Hoja resumen dimensionado circuito hidráulico.
- 9) Norma UNE 100.155: Dimensionado de sistemas de expansión.
- 10) www.sitiosolar.com: Historia de la energía solar térmica.
- 11) Documentación técnica y comercial Viessmann.
- 12) Documentación técnica y comercial Lapesa.
- 13) Documentación técnica y comercial Wilo.
- 14) Documentación técnica y comercial suministros Salvador Escoda S.A.
- 15) Documentación técnica y comercial GENE BRE.
- 16) Documentación técnica y comercial Armacell.
- 17) Documentación técnica y comercial Sorel.

MEMORIA DE CÁLCULO

1. INTRODUCCIÓN.

La memoria de cálculo es un documento básico en el que se reflejan los cálculos llevados a cabo para el dimensionado de los diferentes elementos de la instalación, así como las diferentes alternativas existentes si las hubiere y las soluciones adoptadas finalmente.

Todos los cálculos se realizarán respetando la normativa vigente. En este sentido se pondrá especial atención a lo que indique el HE4-CTE y el RITE, así como también a diferentes normas que pudieran afectar a un elemento determinado.

2. DATOS DE PARTIDA.

2.1- Ubicación del edificio.

La residencia para mayores Claret se encuentra en Sevilla, en la calle San Antonio María de Claret número 10 (latitud=37,359º y longitud= -5,984º).

2.2- Datos climatológicos.

Las condiciones ambientales y climatológicas son algunos de los factores más importantes a considerar durante el diseño de cualquier instalación solar térmica. Estos condicionarán la demanda, la ganancia y las pérdidas energéticas de dicha instalación.

Zona climática:

La zona climática en la que nos encontremos es un dato importante a la hora de calcular la demanda, ya que dependiendo de ésta, la norma nos exige una fracción de demanda cubierta mayor o menor, además el rendimiento de la instalación también variará dependiendo de la zona en la que nos encontremos.

Sin duda, Sevilla dispone de unas de las mejores zonas para la implantación de este tipo de tecnologías, asegurándose un buen rendimiento, siempre y cuando, la instalación haya sido correctamente instalada en lo que se refiere a ubicación de los captadores, conexión de los distintos elementos, etc.

El CTE nos ofrece un mapa de zonas climática, el cual podemos ver en la figura 18:

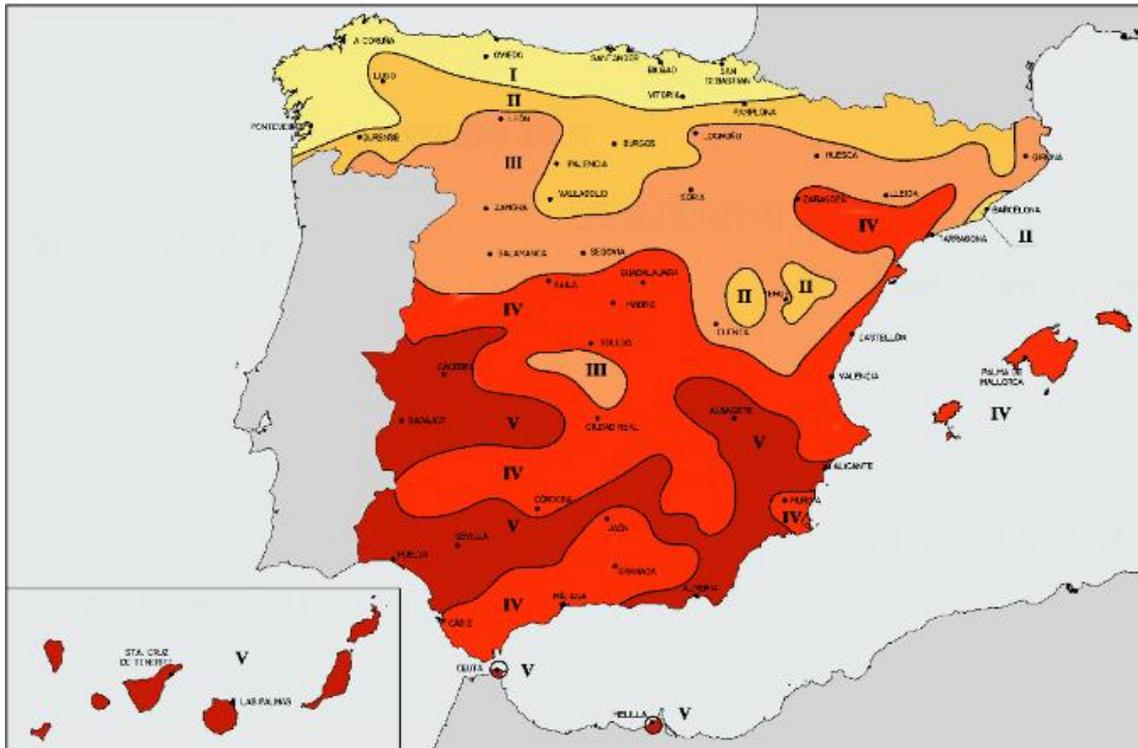


Figura 18: Mapa de zonas climáticas según el CTE.

Si en dicho mapa no se observa con claridad la zona climática de la ciudad o municipio que estamos buscando, podemos acudir al CTE, en el cual encontraremos una serie de tablas donde se especifican con exactitud a qué zona climática pertenece la localidad en la que estamos interesados.

En este caso, se puede observar claramente en el mapa, que Sevilla pertenece a la zona climática V. Dicha zona climática corresponde, según la escala considerada por el CTE, a la zona con mayor nivel de radiación.

Datos de irradiación y temperatura:

Los datos más relevantes en el caso que aquí nos ocupa podemos obtenerlos de la herramienta CHEQ4, en la pestaña "Localización". Introduciendo localidad y municipio el programa nos muestra una tabla con los siguientes datos: Irradiación global media mensual sobre superficie horizontal (según Atlas de Radiación Solar en España de la AEMET), temperatura media mensual del agua de red (según UNE 94002) y temperatura ambiente diaria media mensual (según UNE 94003).

Para Sevilla se tienen los siguientes valores:

	H (MJ/m ²)	T.Red (°C)	T.Amb (°C)
Ene	9,8	11	10,7
Feb	13,2	11	11,9
Mar	18,1	13	14
Abr	22,1	14	16
May	25,2	16	19,6
Jun	28,4	19	23,4
Jul	29,2	21	26,8
Ago	25,9	21	26,8
Sep	20,8	20	24,4
Oct	14,5	16	19,5
Nov	10,5	13	14,3
Dic	8,4	11	11,1

Tabla 7: Datos de irradiación y temperatura.

Otro dato no menos relevante en el dimensionado de una instalación solar térmica, es la irradiación global diaria media mensual sobre superficie inclinada. Para determinar dicho valor habrá que calcular antes los parámetros que se presentan a continuación:

Declinación (δ): Ángulo que forma la línea que une el centro de la Tierra y el centro del Sol con el plano del ecuador celeste. Se calculará mediante la aproximación propuesta por Cooper (1969), la cual ofrece un error máximo de 1,5°.

$$\delta = 23,45 \cdot \operatorname{sen} \left(\frac{360}{365} \cdot (n + 284) \right)$$

Donde n es el día del año (1 para el 1 de Enero y 365 para el 31 de Diciembre). Se tomará el día medio de cada mes.

Factor de corrección de la distancia Tierra-Sol (ϵ): La distancia Tierra-Sol varía a lo largo del año en torno a su valor medio ($r_0 = 149,6 \cdot 10^6$ Km). Se corregirá dicha variación mediante la expresión de Duffie y Beckman:

$$\epsilon = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360}{365} \cdot n \right)$$

Ángulo horario de salida y puesta de Sol (ω_s): Es el ángulo horario correspondiente a la aparición y la desaparición del Sol en el plano del horizonte. Sus valores absolutos son idénticos. Se adopta el criterio de establecer como positivo el ángulo de la puesta y como negativo el de salida. Se calcula poniendo a cero la altura solar, de donde se obtiene la siguiente expresión:

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\Phi)]$$

Donde ϕ es la latitud del lugar.

Irradiación extraterrestre diaria media mensual (H_o): Es la irradiación solar que incidiría en un plano horizontal en ausencia de atmósfera. Se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$H_o = \frac{24}{\pi} \cdot I_{CS} \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \text{sen}(\Phi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s) \right) \cdot 1h$$

Donde I_{CS} es la constante solar, que toma un valor de 1.367 W/m^2 . Para calcular la irradiación extraterrestre se introducirá en $\text{KJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$

$$I_{CS} = 1.367 \frac{W}{m^2} = 1.365 \frac{J}{s \cdot m^2} \cdot \frac{3.600 s}{1h} \cdot \frac{1 KJ}{1000 J} = 4.921,2 \frac{KJ}{h \cdot m^2}$$

Realizando los cálculos pertinentes con las expresiones anteriores, obtenemos los siguientes resultados:

	n	δ (°)	ε	ω_s (°)	H_o (KJ/m^2)
Ene	17	-20,91	1,031	73,03	16.816
Feb	45	-13,62	1,023	79,74	21.587
Mar	74	-2,82	1,01	87,84	28.385
Abr	105	9,41	0,992	97,27	35.291
May	135	18,79	0,977	105,05	39.854
Jun	161	23,01	0,969	108,92	41.639
Jul	199	21	0,968	107,04	40.604
Ago	230	12,78	0,977	99,97	36.644
Sep	261	1	0,992	90,76	30.262
Oct	292	-11,05	1,01	81,43	23.015
Nov	322	-19,82	1,024	74,03	17.442
Dic	347	-23,34	1,031	70,86	15.266

Tabla 8: Parámetros necesarios para el cálculo de la irradiación sobre superficie inclinada.

Una vez calculados los parámetros anteriores, se está en disposición de calcular la irradiación diaria media mensual sobre superficie inclinada siguiendo los siguientes pasos:

Paso 1: Se calcula el índice de claridad (K_T) para cada mes. Dicho índice se define como la relación entre la irradiación diaria media mensual y la irradiación extraterrestre diaria media mensual.

$$K_T = \frac{H}{H_o}$$

Paso 2: Se calcula la fracción de radiación difusa (K_d) para cada mes. Dicho índice puede obtenerse mediante las siguientes expresiones que vienen en función de K_T .

Para $\omega_s \leq 81,4^\circ$ (invierno)

$$K_d = \frac{H_d}{H} = 1,391 - 3,56K_T + 4,189K_T^2 - 2,137K_T^3$$

Para $\omega_s > 81,4^\circ$ (primavera, verano y otoño)

$$K_d = \frac{H_d}{H} = 1,311 - 3,022K_T + 3,427K_T^2 - 1,821K_T^3$$

Paso 3: Con la fracción de difusa se descompone la radiación global en sus componentes directa (H_D) y difusa (H_d):

$$H_d = K_d \cdot H$$

$$H_D = H - H_d$$

Paso 4: Por último se calcula la irradiación diaria media mensual sobre superficie inclinada (H_i) por medio de la siguiente ecuación:

$$H_i = R_D \cdot H + \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) \cdot H_d + \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right) \cdot \rho \cdot H$$

Donde:

- β es el ángulo de inclinación de los captadores (45° en la instalación del presente trabajo. Más adelante se justificará su elección).
- ρ es el albedo. El albedo es la fracción de la radiación global horizontal que es reflejada al incidir sobre el terreno. Se utilizará un valor medio de 0,2.
- R_D lo obtenemos por medio de la siguiente expresión:

$$R_D = \frac{\cos(\Phi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_{S'}) + \frac{\pi \cdot \omega_{S'}}{180} \cdot \text{sen}(\Phi - \beta) \cdot \text{sen}(\delta)}{\cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_S) + \frac{\pi \cdot \omega_S}{180} \cdot \text{sen}(\Phi) \cdot \text{sen}(\delta)}$$

Siendo $\omega_{S'}$ el valor mínimo entre las dos expresiones siguientes:

$$\omega_{S'} = \min \left\{ \begin{array}{l} \cos^{-1}[-\tan(\Phi) \cdot \tan(\delta)] \\ \cos^{-1}[-\tan(\Phi - \beta) \cdot \tan(\delta)] \end{array} \right.$$

Realizando los cálculos correspondientes se obtienen los siguientes resultados, recogidos en la tabla 9:

	K_T	K_d	H_d (KJ/m ²)	H_D (KJ/m ²)	H_i (KJ/m ²)
Ene	0,583	0,316	3.097	6.703	17.543
Feb	0,611	0,292	3.854	9.346	20.160
Mar	0,638	0,305	5.520	12.580	22.057
Abr	0,626	0,315	6.962	15.138	21.689
May	0,632	0,31	7.812	17.388	21.380
Jun	0,682	0,266	7.554	20.846	22.455
Jul	0,726	0,226	6.599	22.601	23.705
Ago	0,707	0,244	6.320	19.580	24.225
Sep	0,687	0,262	5.450	15.350	23.938
Oct	0,63	0,312	4.524	9.976	20.714
Nov	0,602	0,3	3.150	7.350	18.484
Dic	0,55	0,345	2.898	5.502	15.645

Tabla 9: Irradiación diaria media mensual sobre superficie inclinada (H_i).

2.3- Datos de la instalación convencional.

Aunque ya se ha descrito la instalación convencional en la memoria descriptiva, se va a resumir aquí brevemente las características de los equipos más relevantes.

El generador térmico es un módulo de dos calderas de condensación con una potencia de 140 kW y utiliza gas natural como combustible. El depósito tiene una capacidad de 4000 litros. Entre ambos hay un intercambiador de calor exterior de placas.

A esta instalación se conectará la instalación solar que es el estudio del presente proyecto.

3. CÁLCULO DE LA DEMANDA.

3.1- Cálculo de la demanda de ACS.

Para el cálculo de la demanda de ACS se utilizará el HE4-CTE. En la tabla 10 viene especificada dicha demanda en función del tipo de local a una temperatura de referencia de 60º.

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	Unidad
Viviendas	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

Tabla 10: Demandas de ACS según el HE4-CTE.

Para el cálculo de la demanda asumiremos que la ocupación de la residencia es constante durante todo el año, es decir, se asumirá que en cualquier mes la ocupación puede ser del 100 %. Teniendo en cuenta la tabla anterior, es fácil calcular el consumo. La residencia tiene una capacidad máxima de 177 residentes y dispone de una cafetería por la que se añadirán 200 litros adicionales, por tanto:

$$D_{ACS} = 41 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{persona}} \cdot 177 \text{ personas} + 200 \text{ litros} = 7457 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

Este valor también lo podemos obtener por medio de la herramienta CHEQ4 con tan solo introducir los datos requeridos.

3.2- Fracción de demanda cubierta.

Otro aspecto muy importante es saber que fracción de la demanda total energética debe cubrir la instalación solar según la normativa. Ahora que conocemos la zona climática y la demanda de ACS estamos en disposición de obtener dicho valor.

La normativa, más concretamente el HE4-CTE, establece unos requisitos mínimos en función de la zona climática y la demanda de ACS. En la tabla 11 podemos observar dichos requisitos:

Demanda de ACS (l/día)	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

Tabla 11: Contribución solar mínima en %.

Para el caso que aquí nos ocupa, la demanda de ACS es de 7.457 litros/día y nos encontramos en la zona climática V, con lo cual, la instalación solar debe cubrir como mínimo el 70% de la demanda total energética (f=70%).

Añadir que la contribución solar mínima requerida, también nos lo ofrece la herramienta CHEQ4 utilizando el mismo procedimiento que aquí se ha llevado a cabo.

3.3- Demanda energética.

Para el cálculo de la demanda energética utilizaremos la siguiente expresión:

$$Q = \frac{D_{ACS} \cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{ACS} - T_{Red}) \cdot N}{1.000.000}$$

Donde:

- Q =Demanda energética (MJ/mes)
- D_{ACS} =Demanda de ACS (7.457 litros/día)
- ρ = Densidad del agua (1 kg/litro)
- Cp = Calor específico del agua (4190 J/kg·°C)
- T_{ACS} = Temperatura de agua caliente (en este caso la de referencia es 60°C)
- T_{Red} = Temperatura del agua de red (°C)
- N = Números de días del mes (días/mes)

Nota: Tanto la densidad como el calor específico varían con la temperatura, sin embargo, el rango de temperaturas en el que se mueven este tipo de instalaciones es relativamente estrecho, con lo cual, podemos hacer la aproximación de que estos valores no varían y esto no causará apenas error en los resultados.

En la expresión anterior, todos los parámetros serán constantes sin importar el mes que consideremos, excepto el número de días (N) y la temperatura del agua de red (T_{Red}). En la tabla 12 aparecen dichos valores junto con el valor obtenido de la demanda energética para cada mes.

	N (días)	T_{RED} (°C)	Q (MJ)
Ene	31	11	47.461
Feb	28	11	42.868
Mar	31	13	45.524
Abr	30	14	43.118
May	31	16	42.618
Jun	30	19	38.431
Jul	31	21	37.775
Ago	31	21	37.775
Sep	30	20	37.494
Oct	31	16	42.618
Nov	30	13	44.055
Dic	31	14	47.461

Tabla 12: Demanda energética por mes.

En la figura 19 podemos observar la demanda energética de forma gráfica:

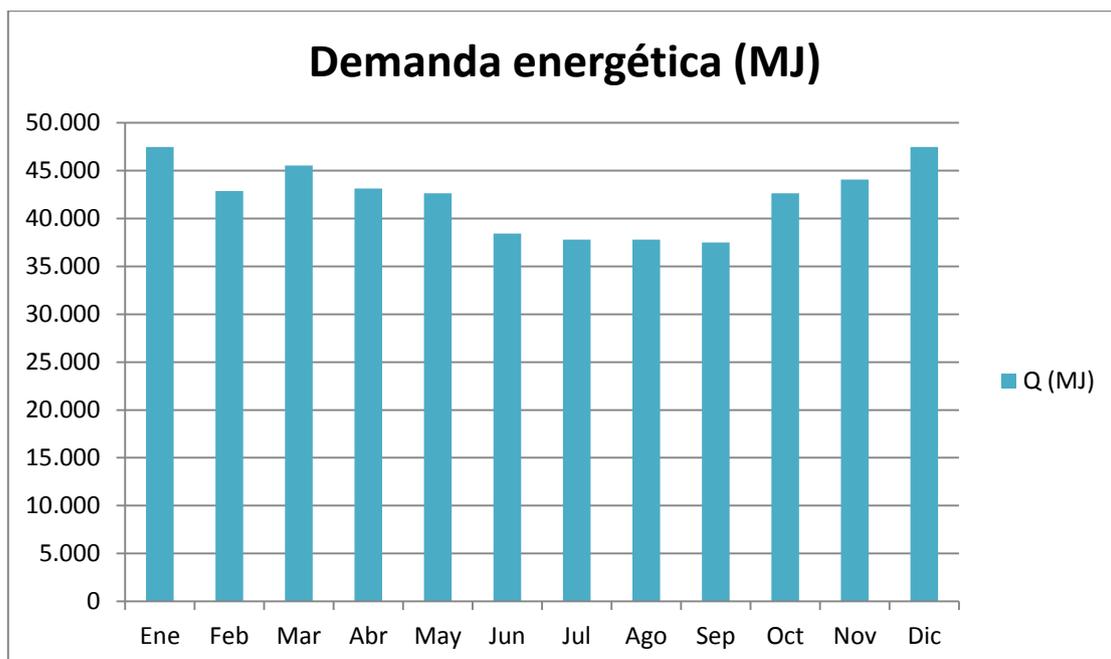
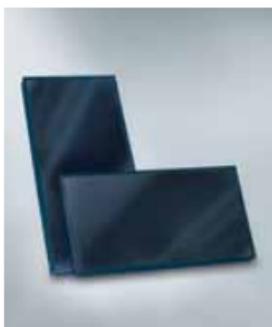


Figura 19: Demanda energética graficada.

4. DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN.

4.1- Elección del captador.

Comparando algunos captadores en el mercado y viendo la base de datos de la herramienta CHEQ4, que es con la cual vamos a verificar que se cumple con la contribución solar mínima, la elección del captador ha sido el Viessmann Vitosol 200-FM SV2F. La descripción de este panel se realiza de forma más amplia en la memoria descriptiva, apartado “Característica de los equipos” (o bien se puede acudir al Anexo B.1). En la figura 20 se pueden ver las características más básicas.



Tipo		Vitosol 200-FM modelo SV2F	Vitosol 200-FM modelo SH2F
Superficie bruta	m ²	2,51	2,51
Superficie de absorción	m ²	2,32	2,32
Superficie de apertura	m ²	2,33	2,33
Dimensiones			
Anchura	mm	1056	2380
Altura	mm	2380	1056
Profundidad	mm	90	90
Peso	kg	41	41

Figura 20: Características básicas del captador seleccionado.

La elección del panel vertical en lugar del horizontal, es por simplicidad en la distribución de captadores en la cubierta (más adelante se realizan los cálculos de la distancia de separación entre filas).

4.2- Orientación e inclinación.

Orientación:

Siempre y cuando las condiciones existentes lo permitan se orientarán los paneles solares hacia el sur si estamos en el hemisferio norte y se orientarán estos hacia el norte si por el contrario estamos en el hemisferio sur (La norma hace mención de esto en el HE4-CTE y nos aconseja como orientación óptima la sur). En nuestro caso la ubicación del edificio nos permite sin ningún problema ubicar los paneles hacia el sur (azimut=0º) y así se procederá. En la figura 21 podemos observar la cubierta del edificio junto con una rosa de los vientos que nos permite ubicarnos.

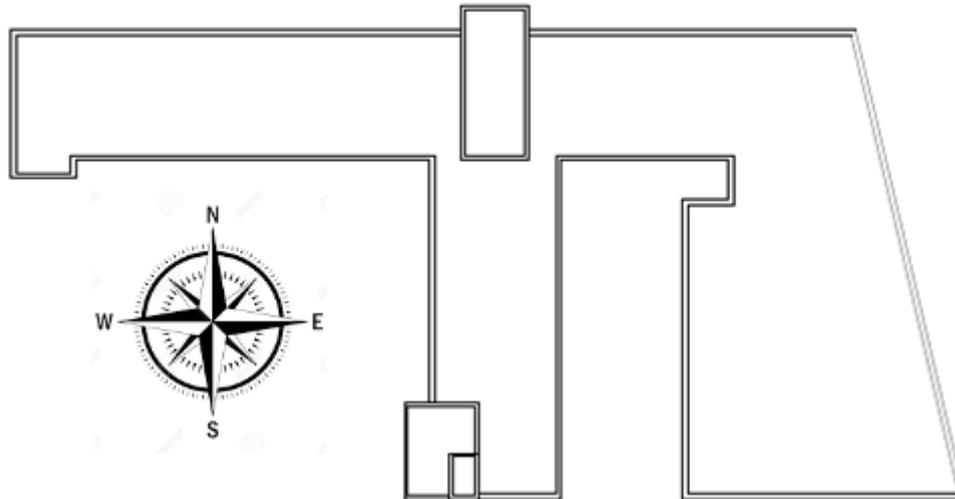


Figura 21: Detalle de la forma de la cubierta y su orientación.

Inclinación:

Respecto a la inclinación de los captadores el HE4-CTE nos dice lo siguiente:

Se considerará como inclinación óptima, dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:

- a. Demanda constante anual: la latitud geográfica.
- b. Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica + 10 °.
- c. Demanda preferente en verano: latitud geográfica – 10 °.

La inclinación óptima según nos dice la norma es una inclinación de 37° (la latitud geográfica del edificio es 37,359°), sin embargo, se va a tomar la decisión de instalar los captadores con una inclinación de 45°. Con una inclinación de 45° se obtiene una producción solar algo más homogénea durante todo el año y puede evitar problemas de sobreproducción en verano (cuanto más horizontal se instalen los captadores más producción se tendrá en verano. Una sobreproducción excesiva podría causar sobrecalentamientos originando el deterioro de los materiales y acortando la vida útil de la instalación).

Cabe recordar que el dimensionado del sistema será tal que en ningún mes del año la energía producida deberá superar el 110% de la demanda energética y no más de tres meses el 100%.

4.3- Cálculo de pérdidas debido a la ubicación de los captadores.

La disposición de los captadores en su entorno puede originar pérdidas que den lugar a una disminución de su rendimiento. Puede haber pérdidas debido a la orientación e inclinación y pérdidas por sombras debido a objetos cercanos o entre las distintas hileras de paneles.

En lo que respecta a estas pérdidas el HE4-CTE establece un límite. La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites establecidos en la siguiente tabla:

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

Tabla 13: Pérdidas máximas permitidas en %.

Por tanto tendremos en cuenta en el caso que nos ocupa (caso general), las pérdidas por orientación e inclinación no superen el 10%, que las pérdidas por sombras no superen el 10% y que la suma de ambas en ningún caso superen el 15%.

Pérdidas por orientación e inclinación:

Estas pérdidas se calculan en función de:

- Ángulo de inclinación (β): Definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal. Su valor es 0° para superficies horizontales y 90° para superficies verticales.
- Ángulo azimut (α): Ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

En la figura 22 se puede observar una representación gráfica de ambos ángulos extraída del IDAE.

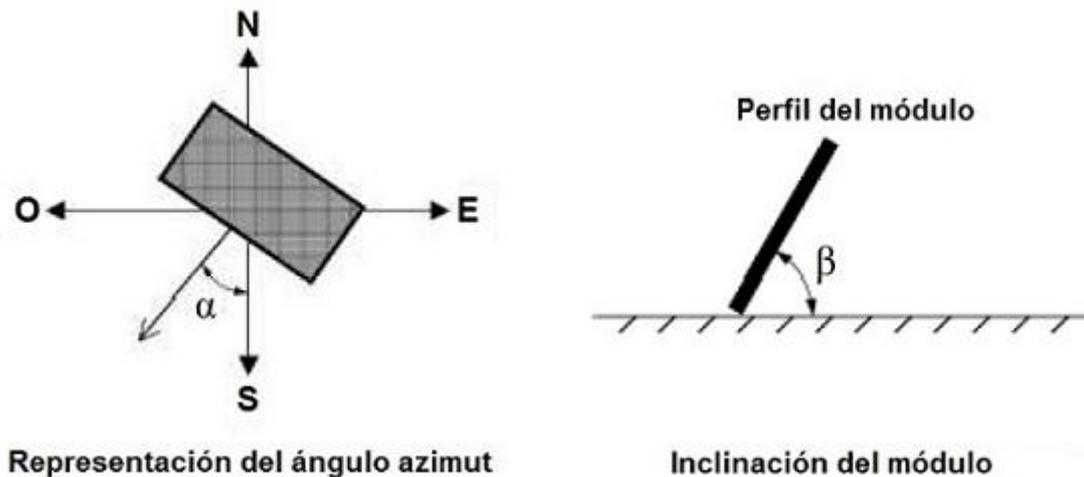


Figura 22: Azimut y ángulo de inclinación. Fuente: IDAE.

Procedimiento de cálculo:

Habiendo determinado el ángulo de azimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecidas. Para ello se utilizará la figura 23, válida para una latitud (ϕ) de 41° de la siguiente forma:

1. Conocido el azimut, determinamos en la figura 23 los límites para la inclinación en el caso de $\phi = 41^\circ$. Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %; para superposición del 20 %, y para integración arquitectónica del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.
2. Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud $\phi = 41^\circ$ y se corrigen de acuerdo al apartado 3.
3. Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 41° , de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Inclinación máxima} = \text{Inclinación } (\phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}).$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{Inclinación } (\phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}), \text{ siendo } 0^\circ \text{ su valor mínimo.}$$

4. En casos cerca del límite, y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ$$

[NOTA: α , β se expresan en grados]

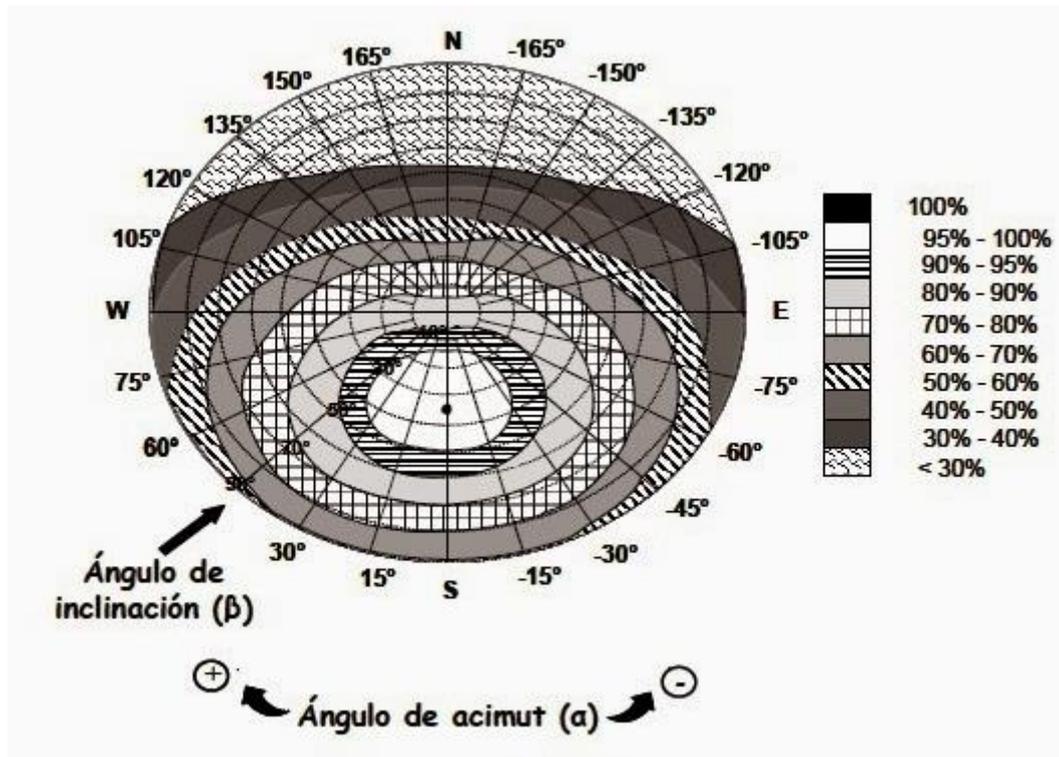


Figura 23: Gráfico para estimación de pérdidas por orientación e inclinación. Fuente IDAE.

Para el caso que aquí nos ocupa, la latitud es de $\phi=37,359^\circ$, el acimut de $\alpha=0^\circ$ y el ángulo de inclinación de $\beta=45^\circ$. Introduciendo estos valores en las fórmulas anteriores obtenemos:

Para 41° de latitud obtenemos de la figura 23 los siguientes valores de inclinación máxima y mínima.

- Inclinación máxima ($\phi=41^\circ$)= 60°
- Inclinación mínima ($\phi=41^\circ$)= 7°

Corrigiendo para la latitud de Sevilla obtenemos:

- Inclinación máxima ($\phi=37,35^\circ$)= $56,35^\circ$
- Inclinación mínima ($\phi=37,35^\circ$)= $3,35^\circ$

Por tanto, la inclinación elegida para los captadores de nuestra instalación, está dentro de los límites y no supera las pérdidas máximas permisibles por la normativa.

Las pérdidas por orientación e inclinación serán:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2] = 0,768 \%$$

Como podemos observar, estas pérdidas son muy pequeñas, con lo cual no se tendrán en cuenta a la hora de realizar los cálculos.

Distancia entre filas de captadores:

La distancia “d” medida sobre la horizontal, entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura “h” que pueda proyectar sombras, se recomienda que sea tal que se garanticen al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno (día más desfavorable del año).

En cualquier caso d ha de ser como mínimo igual a K·h, siendo k un factor adimensional al que se le asigna el valor:

$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a K·h, siendo en este caso h la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la posterior, efectuándose todas las medidas con relación al plano que contiene las bases de los módulos.

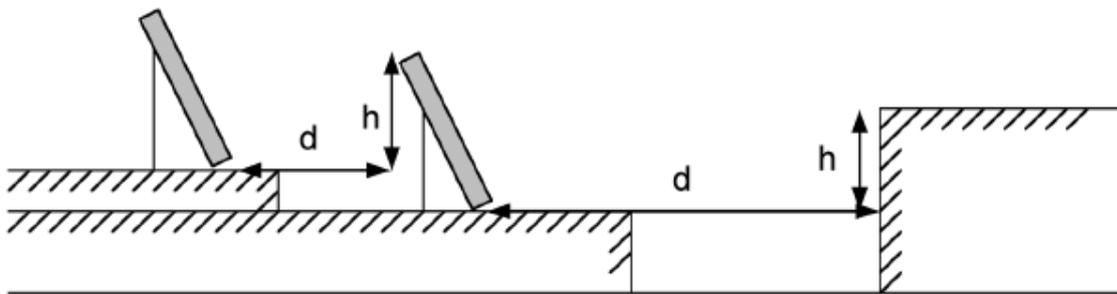


Figura 24: Distancia “d” entre filas de captadores. Fuente: IDEA.

Para el caso que nos ocupa el factor K toma un valor de:

$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - 37,359^\circ)} = 2,284$$

Por tanto:

$$d = k \cdot h = 2,284 \cdot h$$

El captador elegido tiene una anchura de 1056 mm y una altura de 2380 mm. La altura h para una inclinación de 45°, es en este caso:

$$h = 2,38 \text{ m} \cdot \text{sen}\beta = 2,38 \text{ m} \cdot \text{sen}(45^\circ) = 1,683 \text{ m}$$

Por tanto, la distancia de separación será:

$$d = 2,284 \cdot 1,683 \text{ m} = 3,844 \text{ m}$$

Ahora bien, la distancia “d” es desde la parte posterior de una fila hasta el comienzo de la siguiente. La distancia total “D” desde el comienzo de una fila y el comienzo de la otra será:

$$D = d + 2,38 \cdot \cos\beta = 3,844 \text{ m} + 1,683 \text{ m} = 5,53 \text{ m}$$

Por otro lado, también hay que tener en cuenta la separación desde el murete, que tiene una altura de 90 cm. Dicha separación será de:

$$d = 2,283 \cdot h = 2,05 \text{ m}$$

Así pues, se colocarán dos hileras de captadores a ambos lados de la sala de máquinas, con la separación antes calculada. Al tomar este criterio para la separación entre filas, las pérdidas de producción debido a sombras son mínimas.

4.4- Cálculo de la superficie de captación.

Para la elección de la superficie de captación y su configuración, se va a utilizar la herramienta CHEQ4. Con dicha herramienta se ha realizado un estudio sobre la influencia del número total de captadores sobre la fracción de demanda cubierta. El estudio se ha realizado para diferentes volúmenes de acumulación y para diferentes configuraciones. Así, para cada volumen de acumulación propuesto, se ha hecho el estudio para uno, dos y tres paneles en serie. Comentar que se ha estimado el valor de algunos parámetros necesarios como la longitud equivalente del circuito primario, el espesor de aislante, etc. Se fijará una superficie de captación y más adelante con el valor exacto de los parámetros que faltan se corregirán los resultados obtenidos para dicha superficie.

En el presente estudio hay que tener en cuenta que como mínimo debe cubrirse el 70% de la demanda total energética vía solar, tal como exige en este caso la normativa vigente. En cuanto a la superficie disponible en la cubierta para la colocación de los captadores, hay una superficie aproximada disponible de unos 1.200 m², con lo cual esto no presenta una limitación.

Resultados:

A continuación, se presentan las gráficas obtenidas del estudio en CHEQ4.

En primer lugar para un volumen de 8.000 litros los resultados obtenidos se pueden observar en las curvas de la figura 25. De dichas curvas se obtienen las siguientes conclusiones: Para una acumulación de 8.000 litros, se puede observar que tanto la superficie total de captación como las posibles configuraciones quedan bastante limitadas. Por un lado, solo con la configuración de 1 captador en serie (es decir, todos en paralelo) se consigue cubrir el 70% de la demanda. Por otro lado, la superficie de captación queda limitada a 64 captadores (lo que equivale a un área de captación de 160,64 m²), ya que a partir de dicha área no se cumple la relación $50 < V/A < 180$.

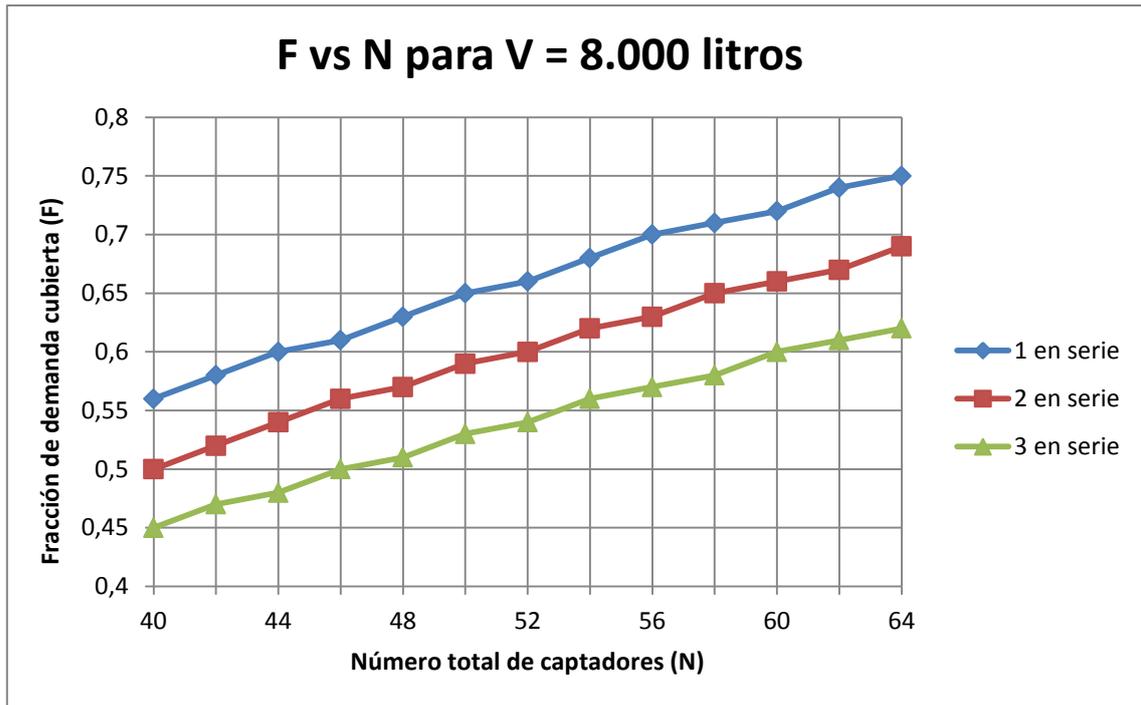


Figura 25: Resultados obtenidos para V = 8.000 litros.

Para un volumen de acumulación de 10.000 litros obtenemos los siguientes resultados:

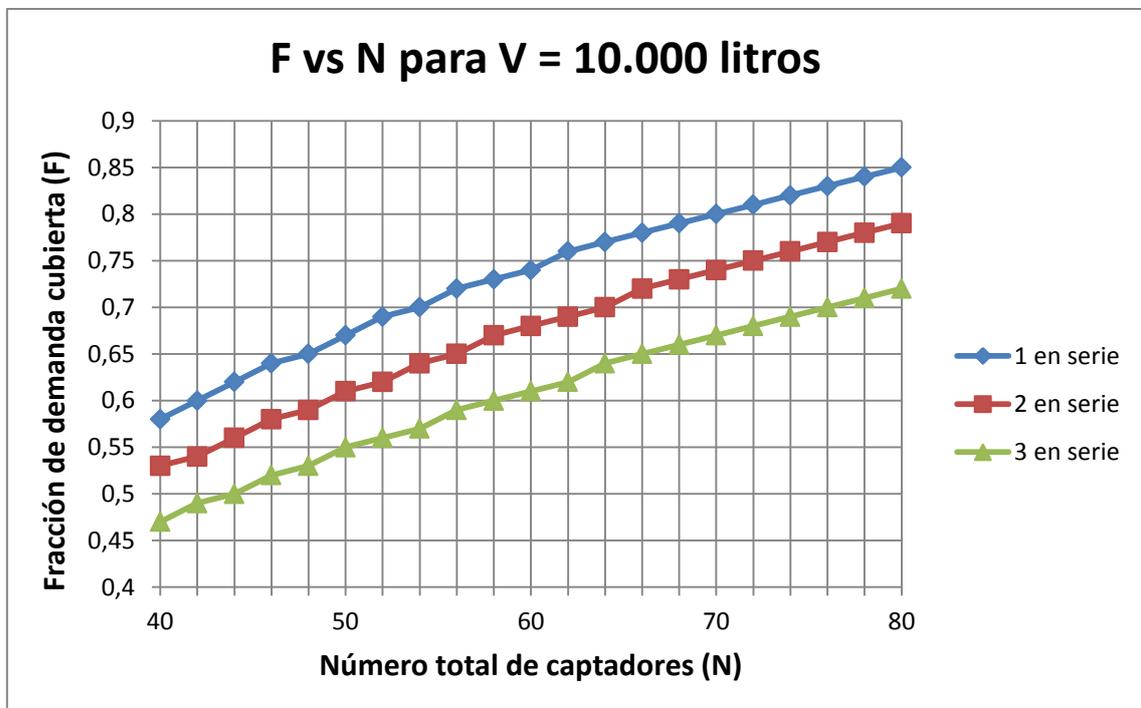


Figura 26: Resultados obtenidos para V = 10.000 litros.

De la figura 26 se observa lo siguiente: Para un captador en serie, se obtiene que puede cubrirse hasta un 85% de la demanda, sin embargo, a partir de 70 captadores se tienen problemas de exceso de producción, superando el 100% en algún mes, lo cual no es aconsejable ya que pueden darse altas temperaturas en algunos puntos de la instalación pudiendo dar lugar a averías y/o un deterioro más rápido de los materiales. Para dos y tres captadores en serie se puede cubrir hasta un 79% y 72% respectivamente. Para las tres configuraciones, el número máximo de captadores que se podría instalar es de 78, ya que para 80, no se cumple la relación $50 < V/A < 180$.

Por último, para un volumen de acumulación de $V = 12.000$ litros se ha obtenido:

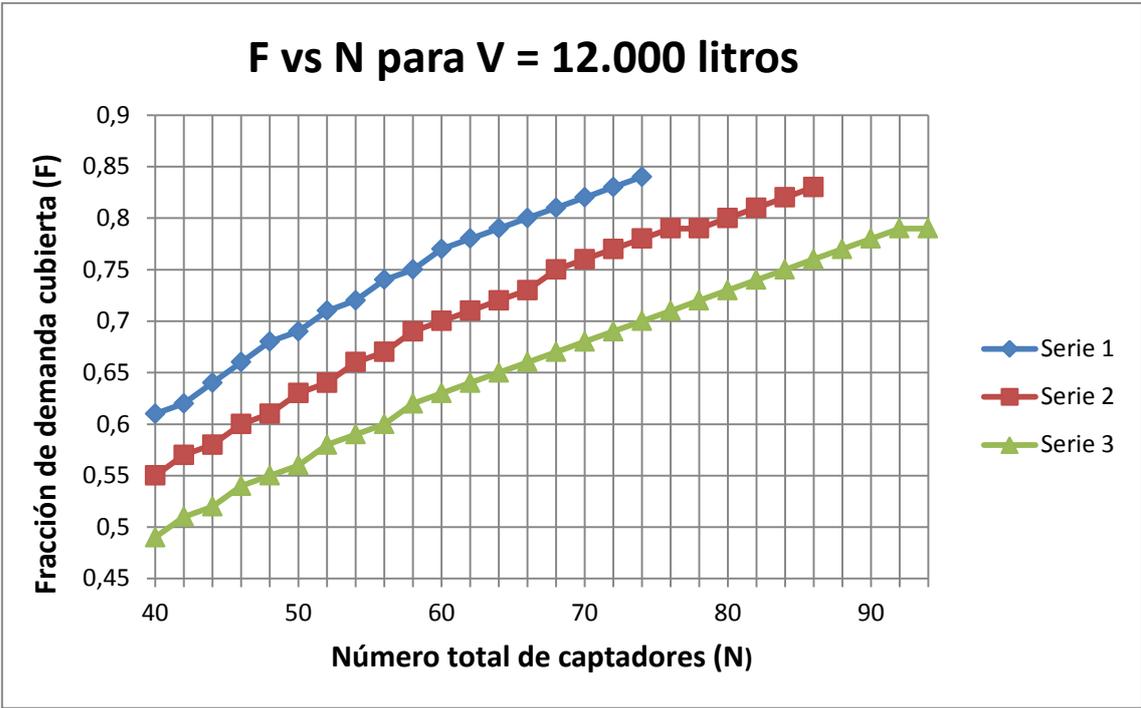


Figura 27: Resultados obtenidos para $V = 12.000$ litros.

De la figura 27 se obtiene lo siguiente: Para un captador en serie, obtenemos que puede cubrirse hasta un 84% de la demanda energética, sin embargo, a partir de 66 captadores la producción supera el 100% en algún mes y para 76 se supera el 100% en más de 3 meses. Para dos captadores en serie, se puede obtener una fracción de demanda cubierta del 83% y el límite se encuentra en 88 paneles, para los cuales se supera el 100% en más de tres meses. Para tres captadores en serie se puede obtener una fracción del 79% y el límite se encuentra en 96 paneles, para los cuales no se cumple la relación $50 < V/A < 180$.

Conclusión y solución elegida:

A la vista de los resultados obtenidos se pueden destacar varios aspectos:

- a. El instalar captadores en serie tiene el inconveniente de que disminuye el rendimiento de la instalación, sin embargo, presenta otras ventajas como que el caudal de fluido caloportador por el circuito es menor, y en consecuencia se disminuye el tamaño de tuberías y se requiere una bomba de menor potencia. Además se pueden conseguir mayores temperaturas a la salida, con lo cual, la recirculación es menor.
- b. Un volumen de acumulación de 8.000 litros (más acorde a la demanda de ACS) limita tanto la superficie de captación como la elección de una posible configuración en serie, siendo únicamente válida la configuración en paralelo. La elección de un volumen mayor nos da más versatilidad en estos aspectos antes mencionados y además desliga, aún más, la producción de la demanda.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, la solución adoptada es la siguiente: Para un volumen de acumulación de 10.000 litros se instalarán 72 captadores (lo que equivale a un área total de captación de 180,72 m²) cubriendo un 73% de la demanda energética total. La configuración será de 2 captadores en serie. Con esta decisión, se pierde algo de rendimiento, pero el caudal de fluido caloportador por el circuito primario es menor, lo que conlleva a un menor tamaño de las tuberías y la instalación de una bomba de menor potencia. Más adelante con los valores exactos de los parámetros que ahora se han estimado (longitud equivalente del circuito, espesor de aislante, etc.) se presentará la tabla de resultados exacta que facilita CHEQ4.

5. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE ACUMULACIÓN.

Según el HE4-CTE para que el rendimiento de la instalación solar sea óptimo se debe cumplir:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Donde:

V: Volumen de acumulación solar (litros).

A: Superficie total de captación (m²).

Del estudio con la herramienta CHEQ4 del apartado anterior se ha elegido un volumen de acumulación de 10.000 litros y un área total de captación de 180,72 m², obteniéndose una relación V/A = 55,33, estando dicho valor dentro del rango exigido por el HE4-CTE. Este valor lo ofrece la herramienta con la que se ha trabajado y ya se sabía de antemano que estábamos dentro del rango.

Los depósitos que se van a instalar, son depósitos de acumulación con serpentín de la marca Lapesa. Concretamente se instalarán dos depósitos de 5.000 litros cada uno (modelo MVX-5000-SS2B). La descripción de estos acumuladores se hace de forma más detallada en la memoria descriptiva, apartado "Característica de los equipos" (o bien puede consultarse el Anexo B.2).

6. CÁLCULO DE LOS EQUIPOS DE INTERCAMBIO.

6.1- Cumplimiento de la normativa.

El intercambiador se encuentra ubicado dentro de los depósitos, ya que se tratan de interacumuladores de serpentín como se ha mencionado en apartados anteriores.

Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, el HE4-CT, nos dice que la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no debe ser inferior a 0,15, es decir:

$$\frac{\textit{Superficie intercambio}}{\textit{Superficie captación}} \geq 0,15$$

Para el caso que nos ocupa, la superficie total de captación es de 180,72 m², por lo que la superficie total de intercambio debe ser mayor o igual a 27,1 m².

El interacumulador elegido es de la marca Lapesa, modelo MXV-5000 SS2B. Cada interacumulador tiene una capacidad de 5000 litros y dispone de doble serpentín con una superficie de intercambio de 15 m². Teniendo en cuenta que se instalarán dos depósitos iguales, la superficie total de intercambio es de 30 m². Por tanto, obtenemos:

$$\frac{\textit{Superficie de intercambio}}{\textit{Superficie de captación}} = 0,166$$

6.2- Estimación de la potencia transferida.

Como ya se ha descrito anteriormente, la instalación consta de dos interacumuladores conectados en serie. El fluido portador cederá parte de su energía a su paso por los serpentines calentando el ACS.

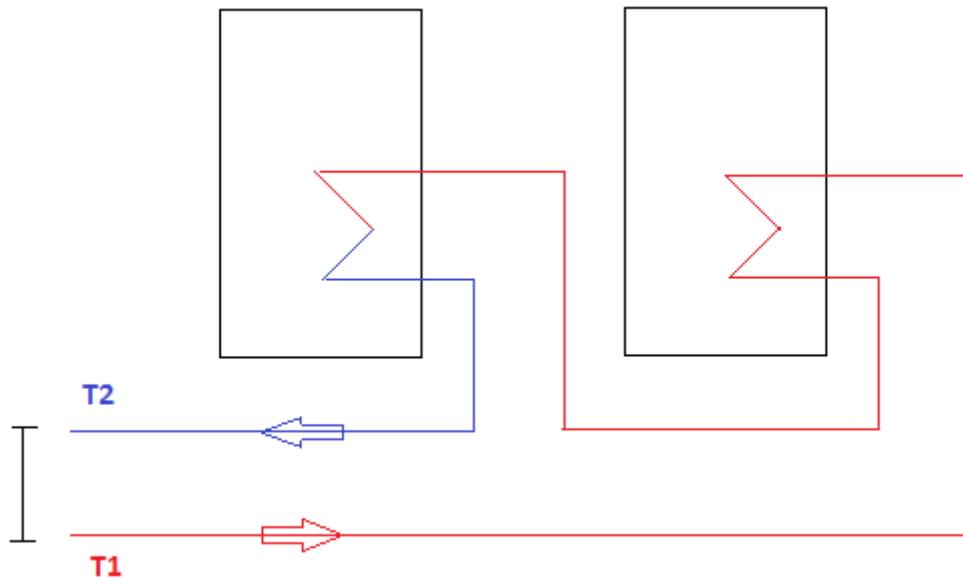


Figura 28: Circulación del fluido portador por interacumuladores.

La potencia cedida por el fluido del circuito primario debe ser igual a la potencia absorbida por el ACS que pasa por interacumuladores:

$$P_C = P_F$$
$$m_C \cdot c_{p_C} \cdot \Delta T_C = m_F \cdot c_{p_F} \cdot \Delta T_F$$

Donde los subíndices C y F se refieren al fluido caliente (fluido del primario) y al fluido frío (ACS) respectivamente.

Como podemos observar la potencia intercambiada depende del caudal másico, del calor específico y del salto de temperaturas. En un régimen de funcionamiento normal el caudal másico se puede suponer constante. El calor específico del fluido no varía mucho en el rango de temperaturas de trabajo y por lo tanto, también lo podemos suponer constante a una temperatura media. Sin embargo, el salto de temperaturas ($\Delta T = T_1 - T_2$) si variará en función de varios factores, como el consumo de ACS, el tiempo que lleve operando la instalación, etc. Así pues la potencia intercambiada variará en función de este salto de temperaturas y solo podríamos decir el valor de dicha potencia considerando un salto determinado. A continuación se va a estimar la potencia intercambiada para diferentes saltos y así poder disponer de un rango de valores en los que se moverá dicha potencia.

El fluido del circuito primario es anticongelante, una mezcla de agua y propilenglicol, con una proporción del 25% en volumen de propilenglicol (véase el cálculo de dicha proporción en el apartado 7.2 de este documento).

Para una temperatura media de 60°C, el calor específico y la densidad del fluido anticongelante del circuito primario tienen un valor de:

$$\rho_c = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp_c = 4,01 \text{ KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

El caudal másico toma un valor de:

$$m_c = 5,783 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1,606 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

La potencia intercambiada será:

$$P_c = m_c \cdot Cp_c \cdot \Delta T_c = 6,44 \cdot \Delta T_c$$

La potencia intercambiada en función del salto de temperaturas en el primario toma los valores de la tabla

ΔT_c (°C)	P_c (KW)
5	32,2
10	64,4
15	96,6
20	128,8
25	161
30	192,2
35	225,4
40	257,6

Tabla 14: Potencia intercambiada en los serpentines en función de ΔT .

7. CÁLCULO DE LA RED DE TUBERÍAS.

7.1- Cuestiones generales.

Para el trazado de tuberías del primario, la normativa nos permite utilizar acero inoxidable o cobre. En este caso se utilizará cobre, el cual es más económico y cumple perfectamente con las necesidades de la instalación.

Para el dimensionado de la red de tuberías hay que tener en cuenta la pérdida de carga que se produce en dicha red. La pérdida de carga, es la pérdida de presión que se produce en el fluido debido a la fricción entre las partículas y entre éstas y las paredes de la tubería. Además de las pérdidas de cargas continuas (las que se producen en los conductos rectos debido a la circulación del fluido), hay que tener en cuenta las pérdidas de carga localizadas o singulares, que son las que se producen en cambios de dirección o ciertos elementos de la instalación, como codos, válvulas, etc.

Otra cuestión importante, es que la pérdida de carga será mayor o menor dependiendo del fluido que circula por dichas tuberías. Si se utiliza un fluido anticongelante por el circuito primario, la pérdida de carga será mayor que si utilizamos agua. Antes de proceder al cálculo de la red de tuberías se estimará la proporción de glicol en agua para formar el líquido anticongelante.

7.2- Líquido anticongelante.

Como anticongelantes se pueden utilizar los productos, solos o mezclados con agua, que cumplan con la reglamentación vigente. Se seleccionará el anticongelante de tal forma que sea capaz de proteger a la instalación contra heladas a una temperatura 5º C por debajo de la temperatura mínima registrada históricamente. A dicha temperatura el calor específico de la mezcla no debe ser inferior a 3 KJ/(Kg·K).

En este caso se utilizará una mezcla de agua y propilenglicol. El propilenglicol tiene la ventaja de no ser nocivo para las personas en caso de ingesta, lo que lo hace apropiado para este tipo de instalaciones en la que se produce ACS. Otros como por ejemplo el etilenglicol son nocivos para la salud en caso de ingesta y solo se justifica su uso para otras aplicaciones o cuando se dispone de depósitos de inercia en vez de depósitos de acumulación.

A continuación se muestra una tabla en la cual se puede observar los puntos de congelación de la mezcla propilenglicol-agua para diferentes concentraciones de propilenglicol en volumen.

% de propilenglicol	Hasta °C
0%	0
10%	-3
20%	-8
30%	-14
40%	-22
50%	-34
60%	-48
100%	-59

Tabla 15: Puntos de congelación en función del % de propilenglicol. Fuente: Laboratorios Ladco.

La temperatura mínima histórica en Sevilla se registró el 12 de Febrero de 1956 en el aeropuerto, durante una ola de frío en la que se alcanzó los $-5,5^{\circ}\text{C}$. La proporción de propilenglicol-agua será tal que la mezcla no alcance el punto de congelación hasta los $-11,5^{\circ}\text{C}$ aproximadamente (5°C por debajo de la mínima histórica), para lo cual la proporción de propilenglicol será del 25% en volumen.

Mirando en tablas, el calor específico de la mezcla a $-11,5^{\circ}\text{C}$ es de $C_p = 3,9 \text{ KJ}/(\text{Kg}\cdot\text{K})$, superior a los $3 \text{ KJ}/(\text{Kg}\cdot\text{K})$, lo cual cumple la restricción anterior.

7.3- Características de la red.

En la figura 29 podemos ver un esquema simplificado de la instalación en el que podemos observar la distribución de la red de tuberías y los diferentes tramos que se han considerado atendiendo al caudal que circula por cada uno de ellos. Dicho esquema es meramente orientativo, y se ha realizado con el simple objeto de apoyarnos en él para el cálculo de los diferentes tramos. Para ver el esquema más detallado, acudir al documento "planos".

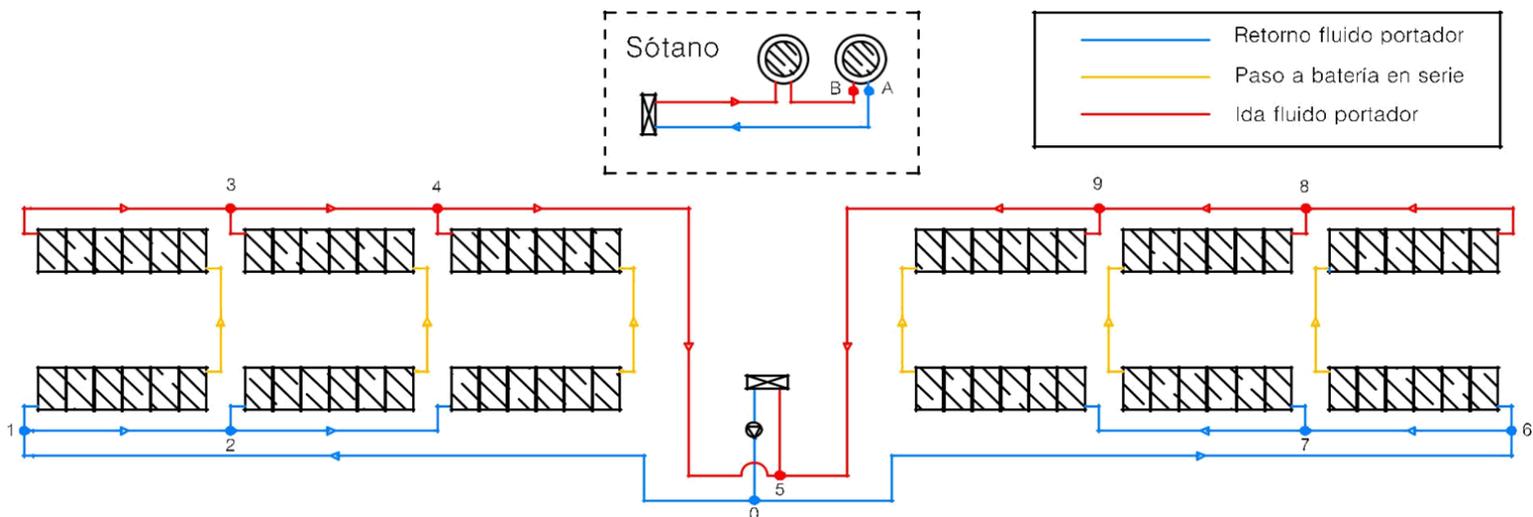


Figura 29: Trazado de tuberías en el primario y circulación del fluido portador.

Para obtener un circuito hidráulicamente equilibrado podemos utilizar retorno invertido o válvulas reguladoras de caudal (válvulas de equilibrado). En este caso se ha optado por un retorno invertido tal y como podemos observar en el esquema anterior.

En la tabla 16 se presentan las características de cada uno de los tramos. Para cada uno de los tramos se especifica:

- $Q(\text{l/h}) \rightarrow$ Caudal que circula por el tramo en litros/hora.
- $L_T(\text{m}) \rightarrow$ Longitud de tubería en metros.
- $C \rightarrow$ Número de codos de 90° .
- $T \rightarrow$ Número de uniones T.
- $V.C \rightarrow$ Número de válvulas de corte.
- $V.A \rightarrow$ Número de válvulas antirretorno.
- $R/E \rightarrow$ Número de reducciones/ensanchamientos.

Tramo	Q (l/h)	L _T (m)	C	T	V.C	V.A	R/E
A-0	5783	30	2	1	4	1	0
0-1	2891,5	31,6	3	0	2	0	1
1-2	1927,67	8	0	1	0	0	1
1-3	963,83	14,1	5	0	4	0	1
2-3	963,83	6,1	4	2	4	0	2
2-4	963,83	13,1	5	1	4	0	1
3-4	1927,67	8	0	0	0	0	1
4-5	2891,5	23,4	2	0	0	0	1
5-B	5783	30	2	1	2	0	0
0-6	2891,5	32,6	3	0	2	0	1
6-7	1927,67	8	0	1	0	0	1
6-8	963,83	14,1	5	0	4	0	1
7-8	963,83	6,1	4	2	4	0	2
7-9	963,83	13,5	5	1	4	0	1
8-9	1927,67	8	0	0	0	0	1
9-5	2891,5	23,6	2	0	0	0	1

Tabla 16: Características de los diferentes tramos de la red.

7.4- Dimensionado de la red de tuberías.

El diámetro de las tuberías se seleccionará de tal forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discorra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.

El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal de tubería.

Para dicho dimensionado se utilizará la fórmula de Flamant, válida para tubos lisos de cobre. Flamant propone para el cálculo de la velocidad y la pérdida de carga unitaria las siguientes expresiones:

$$V = 0,354 \frac{Q}{D^2}$$

$$\Delta P_u = 378 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Donde:

- Q → Caudal de circulación en l/h.
- D → Diámetro interior de la tubería e mm.
- V → Velocidad del fluido en m/s.
- ΔP_u → Pérdida de carga unitaria en milímetros de columna de agua por metro lineal de tubería (mm.c.a/m).

El valor obtenido de la pérdida de carga unitaria calculada con la expresión anterior es válida para tuberías lisas de cobre por la cual discurre agua. Si el fluido es una mezcla de agua y glicol, como es nuestro caso, se multiplicará dicho valor obtenido por 1,3.

El método utilizado para el dimensionado será el de la longitud equivalente. Dicho método consiste en definir para cada accesorio del sistema una longitud virtual de tubería recta que, al utilizarse con la ecuación de pérdida por fricción, genere la misma pérdida asociada a la pérdida localizada de dicho accesorio. La suma de todas las longitudes equivalentes de cada uno de los accesorios de un tramo sumada a la longitud de tubería nos daría como resultado una longitud total, con la cual se calcularía la pérdida de carga total en dicho tramo. El procedimiento de cálculo será un proceso iterativo en el que se probarán diferentes diámetros hasta encontrar un diámetro con el cual la velocidad y la pérdida de carga estén dentro de los límites marcados por la normativa. Dicho diámetro será el menor que cumpla con dichas restricciones para no aumentar costes innecesariamente.

Procediendo como se ha comentado, se obtiene la tabla 17 donde puede observarse los resultados para cada tramo y en la que se especifican los siguientes valores:

- $Q \rightarrow$ Caudal de circulación en litros/hora (l/h.).
- $D_{EXT}/D_{INT} \rightarrow$ Diámetro exterior/Diámetro interior en milímetros (mm).
- $V \rightarrow$ Velocidad del fluido en metros/segundo (m/s).
- $L_T \rightarrow$ Longitud de tubería en metros (m).
- $L_{EQ} \rightarrow$ Longitud equivalente de pérdidas localizadas en metros (m).
- $L \rightarrow$ Longitud total ($L = L_T + L_{EQ}$) en metros (m).
- ΔP_U (agua) \rightarrow Pérdida de carga unitaria utilizando agua como fluido en milímetros de columna de agua por metro lineal de tubería (mm.c.a/m).
- ΔP_U (glicol) \rightarrow Pérdida de carga unitaria utilizando como fluido una mezcla de agua y glicol (anticongelante) en milímetros de columna de agua por metro lineal de tubería (mm.c.a/m).
- $\Delta P \rightarrow$ Pérdida de carga total en el tramo en milímetros de columna de agua (mm.c.a).

Tramo	Q	D_{EXT}/D_{INT}	V	L_T	L_{EQ}	L	ΔP_U (agua)	ΔP_U (glicol)	ΔP
A-0	5783	54/51	0,79	30	20,5	50,5	11,2	14,6	737,3
0-1	2891,5	40/38	0,7	31,6	8,6	40,2	13,5	17,5	703,5
1-2	1927,67	35/33	0,63	8	3,3	11,3	13	16,9	191
1-3	963,83	28/26	0,5	14,1	9,1	23,2	12	15,6	361,9
2-3	963,83	28/26	0,5	6,1	12,8	18,9	12	15,6	294,8
2-4	963,83	28/26	0,5	13,5	11	24,5	12	15,6	382,2
3-4	1927,67	35/33	0,63	8	0,9	8,9	13	16,9	150,4
4-5	2891,5	40/38	0,7	23,4	3,4	26,8	13,5	17,5	469
5-B	5783	54/51	0,79	30	12,4	42,4	11,2	14,6	619
0-6	2891,5	40/38	0,7	32,6	8,6	41,2	13,5	17,5	721
6-7	1927,67	35/33	0,63	8	3,3	11,3	13	16,9	191
6-8	963,83	28/26	0,5	14,1	9,1	23,2	12	15,6	361,9
7-8	963,83	28/26	0,5	6,1	12,8	18,9	12	15,6	294,8
7-9	963,83	28/26	0,5	13,5	11	24,5	12	15,6	382,2
8-9	1927,67	35/33	0,63	8	0,9	8,9	13	16,9	150,4
9-5	2891,5	40/38	0,7	23,6	3,4	27	13,5	17,5	472,5

Tabla 17: Resultados obtenidos para cada tramo del circuito.

8. DIMENSIONADO DE LA BOMBA DE CIRCULACIÓN.

8.1- Cuestiones generales.

En instalaciones con superficies de captación superiores a 50 m² deben montarse dos bombas idénticas en paralelo dejando una de reserva. Puesto que la instalación del presente trabajo tiene una superficie de captación de 180,72 m² se procederá de tal forma. Así, en caso de avería de una de las bombas, no habría necesidad de parar la instalación hasta la reparación de dicha bomba.

Las bombas se instalarán en la zona fría de la instalación, es decir, en el retorno del fluido caloportador hacia captadores. Irán ubicadas en la sala de máquinas y se instalarán con la certeza de que no se produce ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

Las tuberías conectadas a las bombas se fijarán en las inmediaciones de éstas de forma que no provoquen esfuerzos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento en ningún caso será inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

8.2- Cálculo de la pérdida de carga en la instalación.

Para una correcta elección de la bomba, se debe realizar un estudio de las pérdidas de cargas que dicha bomba debe vencer. Las pérdidas a vencer serán la suma de las pérdidas en la red de tuberías, pérdidas en captadores y pérdidas en acumuladores debidas al intercambiador interno.

Pérdidas de carga en la red de tuberías:

En lo que respecta a las pérdidas de carga en la red de tuberías, sólo se tendrá en cuenta el camino más desfavorable. Si la bomba puede hacer circular una partícula fluida por el camino con más pérdidas de carga, lo hará como es evidente por un camino con unas pérdidas menores.

Realizando los cálculos pertinentes, se obtienen los siguientes valores de pérdidas de carga (en mm.c.a) en los diferentes caminos posibles por los que podría circular una partícula fluida.

Camino	ΔP_R (mm.c.a)
A01345B	3041,1
A012345B	3165
A01245B	3102
A06895B	3062,1
A067895B	3186
A06795B	3123

Tabla 18: Pérdidas de carga en los diferentes caminos de la red de tuberías.

Como podemos observar, el camino más desfavorable es el A067895B con unas pérdidas de 3186 mm.c.a. Dicho tramo es el que se tendrá en cuenta para la elección de la bomba.

Pérdidas de carga en captadores:

Para el cálculo de la pérdida de carga en captadores se utilizará el gráfico facilitado por el fabricante en el catálogo técnico. Los captadores, como se ha mencionado en apartados anteriores, son de la marca Viessmann, modelo Vitosol 200-FM SV2F y se puede calcular las pérdidas de carga producidas en un captador con el gráfico de la figura 30.

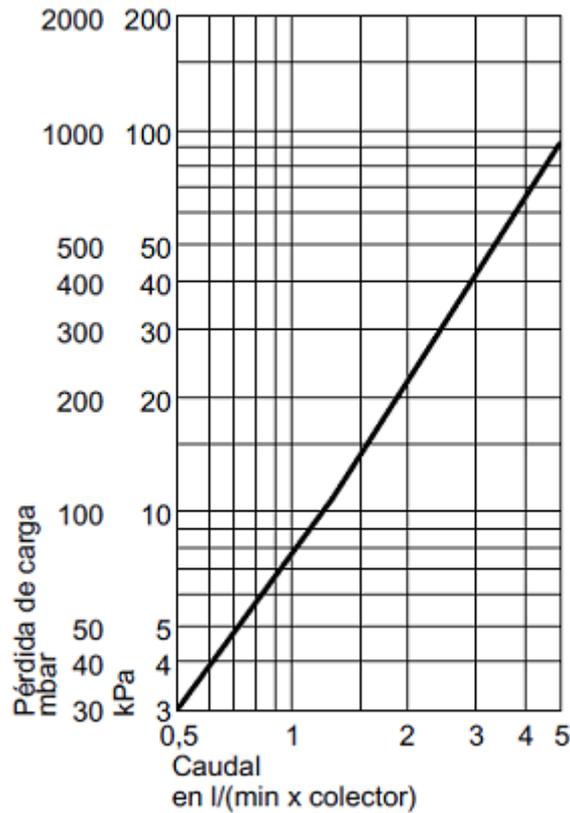


Figura 30: Pérdida de carga en captador.

Dicho gráfico se refiere al agua, se corresponde con Tyfocor LS (mezcla de agua y propilenglicol) a 60°C aproximadamente.

Como caudal de diseño se ha tomado el caudal de test ofrecido por la herramienta CHEQ4. Dicho valor es de 64 l/(h·m²) o lo que es lo mismo:

$$q = \frac{64 \text{ l}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \frac{2,51 \text{ m}^2}{1 \text{ colector}} = 2,677 \frac{\text{l}}{\text{min} \cdot \text{colector}}$$

Entrando en la gráfica con dicho caudal obtenemos una pérdida de carga en cada captador de 300 mbar, es decir, 3060 mm.c.a.

Para un conjunto de captadores en paralelo, la pérdida de carga del conjunto de captadores es la misma que la pérdida en un solo captador. Puesto que se tienen dos baterías en serie de captadores en paralelo, la pérdida de carga total será:

$$\Delta P_C = 3060 \frac{\text{mm. c. a}}{\text{captador}} \cdot 2 \text{ captadores} = 6120 \text{ mm. c. a}$$

Pérdida de carga en los interacumuladores:

Para obtener la pérdida de carga en los interacumuladores se utilizará el gráfico de la figura 31, facilitado por el fabricante:

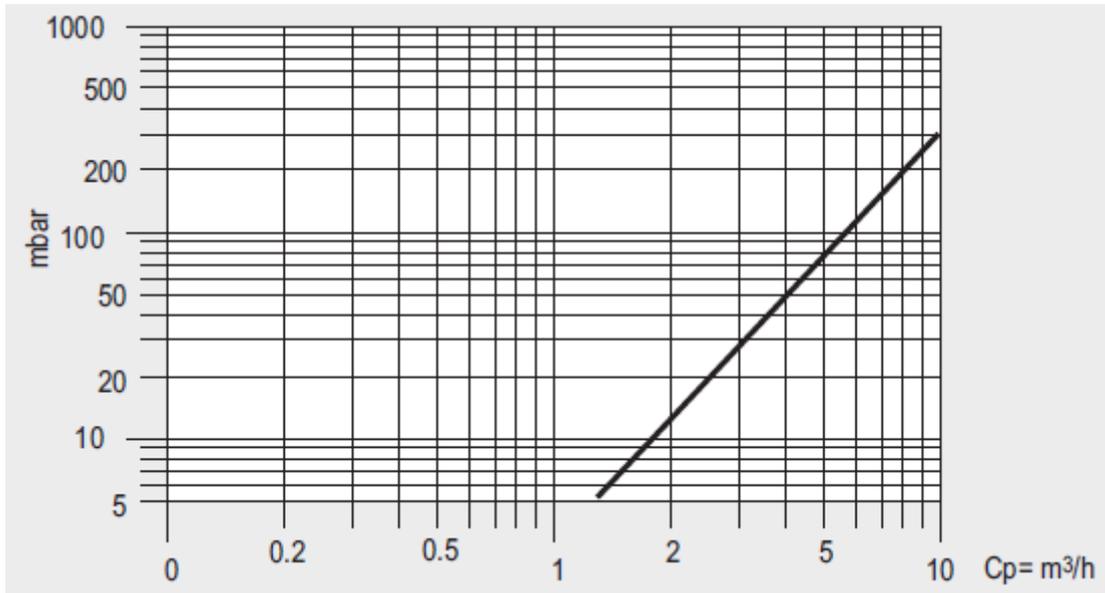


Figura 31: Pérdida de carga en interacumulador.

En el gráfico podemos ver la pérdida de carga que se produce en el intercambiador expresada en milibar en función del caudal en metros cúbicos por hora.

El caudal que circula por el intercambiador es de 5,783 m³/h, lo que da lugar a una pérdida de carga en cada interacumulador de unos 100 mbar, es decir, 1020 mm.c.a.

Dado que la instalación dispone de dos depósitos idénticos, la pérdida de carga total en los interacumuladores será:

$$\Delta P_I = 2040 \text{ mm. c. a}$$

Pérdida de carga total en el primario:

La pérdida de carga total, y por tanto, la pérdida de carga que debe vencer la bomba es:

$$\Delta P = \Delta P_T + \Delta P_C + \Delta P_I = 11346 \text{ mm. c. a} \cong 11,35 \text{ m. c. a}$$

8.3- Elección de la bomba.

La bomba seleccionada será una bomba centrífuga. Actualmente es la bomba más utilizada para bombear líquidos en general. Son máquinas rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica en energía cinética o de presión de un fluido incompresible.

La bomba puede ser de rotor seco o rotor húmedo. En este caso se seleccionará una bomba de rotor seco. En una bomba de rotor seco, los componentes que entran en contacto con el fluido (las piezas húmedas) están separados del motor. Por lo general, estas bombas tienen mayor eficiencia que las de rotor húmedo. Como desventajas respecto a las de rotor húmedo podemos mencionar que generan mayor ruido y precisan un mayor mantenimiento.

La bomba seleccionada será de la marca Wilo, más concretamente será el modelo VeroLine IPL. El fabricante de dichas bombas nos ofrece una amplia gama de bombas de dicho modelo, entre las cuales debemos elegir la más adecuada atendiendo al caudal que circula por ésta y las pérdidas que debe vencer. Para ello, dicho fabricante nos ofrece un gráfico en el cual podemos seleccionar la bomba más conveniente para nuestra instalación.

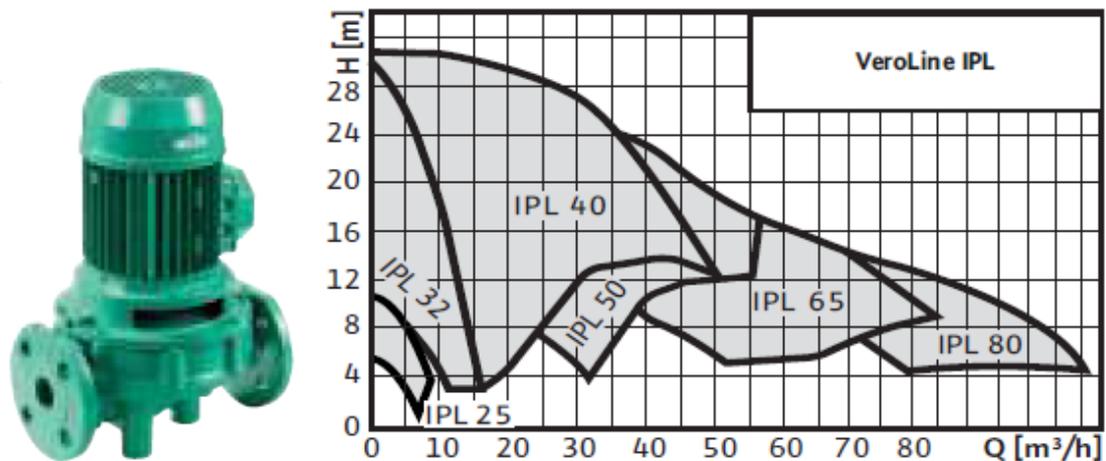


Figura 32: Gráfico para elección de bomba.

En el eje de abscisa tenemos el caudal en metros cúbicos por hora y en el eje de ordenadas la altura que proporciona la bomba en metros. Dado que en la instalación del presente trabajo el caudal que circula por la bomba es de $5,783 \text{ m}^3/\text{h}$ y las pérdidas que debe vencer son de $11,36 \text{ m.c.a}$, a través del gráfico podemos observar que la bomba más idónea para la instalación es la IPL 32.

En la tabla 19, extraída del catálogo del fabricante Wilo, podemos elegir el modelo correcto con más precisión:

Wilo VeroLine ⁽¹⁾ , 50 Hz – versión de 2 polos, 2900 l/min (conexión embreada)														
Referencia	Modelo	Longitud (mm)	P ₂ (kW)	Precio €	Caudal (m ³ /h)									
					0	4	8	12	16	20	28	36	42	48
					Altura (m)									
2150335	IPL 32/85-0.37/2*	260	0.37	1.098,00	9.3	8.9	6.9							
2150336	IPL 32/95-0.55/2*	260	0.55	1.109,00	13	12.5	11	7.5						
2152928	IPL 32/105-0.75/2*	260	0.75	1.196,00	16	15.8	14.1	11	6					
2152929	IPL 32/125-1.1/2*	260	1.1	1.370,00	21.2	21	19.7	16.8	12.1	6				
2152930	IPL 32/135-1.1/2	260	1.1	1.370,00	24.9	24.8	23.5							
2152931	IPL 32/135-1.5/2*	320	1.5	1.428,00	25	24.6	22.3	21	17	11				
2121199	IPL 32/165-3/2	320	1.5	1.638,00	32	32.5	32	30.8	28.6	26				
2121200	IPL 32/175-4/2	320	4	2.217,00	40.1	40.6	40.1	39	37	34.4	27.5			
2155494	IPL 40/75-0.12/2*	220	0.12	911,00	4.5	4.4	3.6	2						
2089584	IPL 40/90-0.37/2*	250	0.37	1.139,00	7.8	7.6	6.8	4.8						
2089585	IPL 40/115-0.55/2*	250	0.55	1.370,00	12.5	12.3	11.6	10.2	7.7					
2121201	IPL 40/120-1.5/2*	320	1.5	1.483,00	18.2	18.5	18.7	18.3	17.5	16.3	12.5			
2121202	IPL 40/130-2.2/2*	320	2.2	1.587,00	21.5	22	22.2	21.9	21.2	20	16.1			
2121203	IPL 40/150-3/2*	320	3	1.735,00	27.4	27.7	28	28	27.5	26.8	24	19.3	15	
2121204	IPL 40/160-4/2*	320	4	1.997,00	30.8	31	31.3	31.5	30.4	27.4	23.9	21.1	19.8	14
					0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
2121205	IPL 40/165-4/2	340	4	2.311,00	32.5	33.3	33.4	32.9	32	30.6	29	26.9		
2121206	IPL 40/175-5.5/2	340	5.5	2.483,00	40	40.6	40.8	40.6	40	38.9	37.4	35.5	33.1	
2121207	IPL 40/195-7.5/2	440	7.5	2.558,00	50.9	51.3	51.7	51.5	50.6	48.8	46.5	43.7		

Tabla 19: Tabla para selección precisa de la bomba.

Podemos observar que de los modelos IPL 32, el más adecuado es el IPL 32/105-0,75/2. Dicho modelo es capaz de vencer unas pérdidas aproximadas de 15 m.c.a a un caudal de 6 m³/h. Con esta elección sobredimensionamos un poco la bomba y aplicamos un margen de seguridad asegurándonos de que ésta sea capaz de proporcionar la altura necesaria sin ningún tipo de problemas.

Como se ha comentado anteriormente, se instalarán dos bombas idénticas en paralelo dejando una de reserva. De esta forma en caso de avería de una de las bombas, la instalación puede seguir funcionando.

Las características básicas de la bomba seleccionada son:

- Diámetro de conexión = 32 mm
- Diámetro nominal del rodete = 105 mm
- Potencia del motor = 0,75 KW
- Número de polos = 2

Para más información, se puede consultar la memoria descriptiva, apartado “Características de los equipos”.

9. DIMENSIONADO DEL VASO DE EXPANSIÓN.

9.1- Función y requisitos.

El vaso de expansión tiene la función de absorber las dilataciones del fluido caloportador al variar su temperatura, manteniendo la presión entre límites preestablecidos, e impidiendo al mismo tiempo pérdidas de fluido a través de la válvula de seguridad.

El vaso de expansión se conectará, siempre y cuando sea posible, en la aspiración de la bomba. La presión donde se encuentre el vaso de expansión es aproximadamente constante, si fijamos la presión en un valor superior a la presión atmosférica en el punto de mínima presión (aspiración de la bomba), se consigue que el resto del circuito también se encuentre a una presión mayor a la atmosférica, evitando así entrada de aire al circuito con los problemas que esto conlleva.

El dispositivo de expansión del circuito de captadores deberá estar dimensionado de tal forma que, incluso después de una interrupción del suministro de potencia a la bomba de circulación del circuito de captadores, justo cuando la radiación solar sea máxima, se pueda restablecer la operación automáticamente cuando la potencia esté disponible de nuevo.

9.2- Procedimiento de cálculo y resultados.

Para el dimensionado del vaso de expansión se utilizará la norma UNE 100.155. Para un vaso de expansión cerrado con membrana, el volumen del vaso de expansión se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$V_{VE} = V \cdot C_e \cdot C_p$$

Donde:

- V_{VE} → Volumen del vaso de expansión.
- V → Volumen total de fluido caloportador en el circuito.
- C_e → Coeficiente de expansión.
- C_p → Coeficiente de presión.

Cálculo del volumen total de fluido caloportador en el circuito (V):

El volumen total de fluido caloportador en el circuito viene dado por el volumen de fluido contenido en la red de tubería, el contenido en los captadores y el que contienen los serpentines de los interacumuladores.

Volumen en la red de tuberías: El volumen contenido en una tubería de diámetro interior D_i y longitud L se puede calcular como:

$$V_T = L \frac{\pi D_i}{4}$$

Haciendo los respectivos cálculos, obtenemos la siguiente tabla de resultados para la red de tuberías del circuito primario:

Diámetro de tubería (mm)	Longitud de tubería (m)	Volumen de fluido (m^3)
51	60	0,1226
38	111,2	0,1261
33	32	0,0274
26	67,4	0,0358

Tabla 20: Cálculo volumen de fluido en red de tuberías.

De la tabla se obtiene que el volumen total de fluido contenido en la red de tuberías es:

$$V_T = 0,3119 m^3 \cong 312 \text{ litros}$$

Volumen de fluido en captadores: Mirando en la ficha técnica del captador elegido (ver en Anexo B.1) se puede observar que el volumen de fluido que puede albergar un captador es de 1,83 litros. Dado que el sistema de captación dispone de 72 captadores, el volumen de fluido en captadores será:

$$V_C = 1,83 \frac{\text{litros}}{\text{captador}} \cdot 72 \text{ captadores} = 131,76 \text{ litros}$$

Volumen de fluido en intercambiadores: La capacidad del serpentín del interacumulador MXV-SSB es de 56 litros. El interacumulador elegido es el modelo MXV-SS2B, idéntico al MXV-SSB pero con otro serpentín más en la parte superior con una capacidad de 28 litros. Por tanto la capacidad en un interacumulador es de 84 litros. Dado que hay instalados dos depósitos iguales, el volumen de fluido en los intercambiadores es:

$$V_I = 168 \text{ litros}$$

Volumen de fluido total en el circuito primario: Realizando la suma de los valores obtenidos, se obtiene el volumen total de fluido:

$$V = V_T + V_C + V_I = 611,76 \text{ litros} \cong 612 \text{ litros}$$

Cálculo del coeficiente de expansión (Ce):

El coeficiente de expansión es siempre positivo y menor que la unidad y representa la relación entre el volumen útil del vaso de expansión, que debe ser igual al volumen de fluido expansionado, y el volumen de fluido contenido en la instalación.

$$Ce = \frac{V_U}{V}$$

Se puede calcular con la siguiente expresión, válida para el agua y para un rango de temperaturas entre 30°C y 120°C, ambas incluidas.

$$Ce = (3,24T^2 + 102,13T - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

Realizando los cálculos pertinentes obtenemos la tabla 21, en la que pueden observarse los resultados obtenidos:

T (°C)	Ce	Ce en %
30	0,0087	0,87 %
40	0,012	1,2 %
50	0,0159	1,59 %
60	0,0205	2,05 %
70	0,0257	2,57 %
80	0,0316	3,16 %
90	0,0381	3,81 %
100	0,0453	4,53 %
110	0,0477	4,77 %
120	0,0562	5,62 %

Tabla 21: Valores del coeficiente de expansión para diferentes temperaturas.

Si el funcionamiento de la instalación es correcto, no deberían alcanzarse temperaturas de 120 °C en ningún momento, sin embargo, en condiciones anómalas de funcionamiento, como por ejemplo un corte en el suministro eléctrico que detuviera el funcionamiento de la bomba, junto con altos niveles de radiación, podría hacer que en algún momento puntual se alcanzara dicha temperatura. Consideraremos el caso más desfavorable y tomaremos para los cálculos el coeficiente de expansión para T=120 °C, cuyo valor es Ce=0,0562.

Ahora bien, el valor anterior es válido para el agua. Para una mezcla de agua y glicol como es nuestro caso, hay que aplicar un factor corrector que viene dado por:

$$f_c = a \cdot (1,8T + 32)^b$$

Donde:

$$a = -0,0134 \cdot (G^2 - 143,8G + 1918,2)$$

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

Siendo G el tanto por ciento de glicol en volumen de la mezcla. En nuestro caso, la mezcla contiene un 25% de glicol en volumen.

Aplicando las expresiones anteriores se obtiene:

$$a = 14,09$$

$$b = -0,434$$

$$fc = 1,287$$

Así pues, el valor del coeficiente de expansión es:

$$Ce = 0,0723.$$

Cálculo del coeficiente de presión (Cp):

El coeficiente de presión se calcula utilizando la ley de los gases perfectos, para variaciones de volumen a temperatura constante (ley de Boyle y Mariotte). Para vasos de expansión con diafragma se puede calcular como:

$$Cp = \frac{P_M}{P_M - P_m}$$

Donde:

P_M = Presión máxima

P_m = Presión mínima

La presión mínima de funcionamiento en el vaso de expansión se elegirá de manera que, en cualquier punto del circuito y con cualquier régimen de funcionamiento de la bomba de circulación, la presión existente sea superior a la presión atmosférica o a la tensión de saturación del vapor de agua a la máxima temperatura de funcionamiento, la mayor de las dos.

Se tomará un margen de seguridad, tanto mayor cuanto más elevada sea la temperatura de funcionamiento, con un mínimo de 0,2 bar para sistemas a temperaturas inferiores a 90 °C y de 0,5 bar para sistemas a temperaturas superiores.

La presión relativa de llenado será como mínimo 0,5 bar, lo que equivale a 1,5 bar de presión absoluta. A este valor habrá que añadirle la altura de columna de agua situada sobre el vaso. Dado que tanto la bomba como el vaso de expansión se encuentran en la cubierta (a la altura de los captadores), no hay que corregir dicho valor. Aplicando un margen de seguridad de 0,5 a la presión de llenado obtenemos la presión mínima, cuyo valor será:

$$P_m = 2 \text{ bar}$$

La presión máxima de funcionamiento será ligeramente menor que la presión de tarado de la válvula de seguridad. A su vez la presión de tarado será inferior a la menor entre las presiones máximas de trabajo de los equipos y aparatos que forman parte del circuito. Se elegirá el menor valor entre los siguientes valores:

$$P_M = 0,9 \cdot P_{VS} + 1$$

$$P_M = P_{VS} + 0,65$$

La presión máxima admisible por los captadores es de 6 bar (ver ficha técnica en Anexo B.1), con lo cual se tomará como presión de tarado 5 bar. Con este valor de la presión de tarado obtenemos:

$$P_M = 0,9 \cdot P_{VS} + 1 = 5,5 \text{ bar}$$

$$P_M = P_{VS} + 0,65 = 5,65 \text{ bar}$$

Por tanto, como presión máxima se tomará 5,5 bar.

El coeficiente de presión toma un valor de:

$$Cp = \frac{P_M}{P_M - P_m} = \frac{5,5 \text{ bar}}{5,5 \text{ bar} - 2 \text{ bar}} = 1,57$$

Volumen del vaso de expansión:

Calculado los parámetros anteriores, se está en disposición de obtener el volumen del vaso de expansión:

$$V_{VE} = V \cdot Ce \cdot Cp = 612 \text{ litros} \cdot 0,0723 \cdot 1,57 = 69,47 \text{ litros}$$

Se cogerá el vaso de expansión comercial con el volumen inmediatamente superior al valor obtenido. Se ha optado por un vaso de expansión de 80 litros del fabricante Ibaiondo (para ver características acudir a Anexo B.5).



Figura 33: Detalle vaso de expansión 80 litros.

10. CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO.

El Reglamento de Instalaciones térmicas en Edificios (RITE) establece que todas las tuberías y accesorios, así como equipos, aparatos y depósitos de las instalaciones térmicas dispondrán de un aislamiento térmico cuando contengan fluidos refrigerados a temperatura menor que la temperatura ambiente o temperaturas mayores de 40 °C cuando estén instalados en locales no calefactados.

10.1- Aislamiento en tuberías y accesorios.

El RITE establece los espesores mínimos de aislamiento que deben llevar las tuberías y accesorios en función del rango de temperaturas del fluido que transportan, del diámetro exterior de la tubería, y de si dichas tuberías discurren por el interior o el exterior del edificio.

Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes y discurren por el interior del edificio.			
Diámetro exterior (°C)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50
Espesores mínimos de aislamiento (mm) para tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes y discurren por el exterior del edificio.			
Diámetro exterior (°C)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Tabla 22: Espesores mínimos de aislante según RITE.

Siguiendo las especificaciones del RITE y considerando un rango de temperaturas en el primario de 60°C-100°C, los espesores mínimos de aislamiento son los siguientes:

Para tuberías por el interior del edificio:

D_{EXT} (mm)	L (m)	e (mm)
54	56	30

Tabla 23: Espesor mínimo de aislamiento para tuberías por el interior.

Para tuberías por el exterior del edificio:

D_{EXT} (mm)	L (m)	e (mm)
54	4	40
42	111,2	40
35	32	35
28	67,4	35

Tabla 24: Espesor mínimo de aislamiento para tuberías por el exterior.

Donde:

- D_{EXT} = Diámetro exterior de tubería
- L = Longitud de tubería
- e = Espesor mínimo de aislamiento

Se ha optado por instalar aislante térmico de 40 mm para las tuberías que van por el exterior y aislante de 30 mm para las que discurren por interior. Se instalará aislante de la marca Armacell, en concreto el aislante Armaflex XG de espuma elastomérica. Las tablas anteriores facilitadas por el RITE son válidas para un material de referencia de conductividad térmica $0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ a $10 \text{ }^\circ\text{C}$. El aislante elegido tiene una conductividad menor, con lo cual cumple perfectamente con la normativa. Dicho aislante cubrirá en su totalidad tuberías y accesorios, dejando únicamente sin cubrir los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

Cuando las tuberías o equipos estén instalados en el exterior del edificio, la terminación final del aislamiento deberá poseer la protección suficiente contra la intemperie. Se admiten revestimientos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas. Dicho revestimiento servirá de protección contra los agentes meteorológicos y evitará así un deterioro excesivo con el paso del tiempo.

10.2 - Aislamiento en interacumuladores.

Los equipos que se suministren aislados de fábrica, deben cumplir con su normativa específica en materia de aislamiento. Los espesores mínimos de aislamiento de equipos, aparatos y depósitos deben ser iguales o mayores que los indicados en las tablas anteriores para tuberías de diámetro exterior mayor que 140 mm.

De esta forma el RITE establece que el espesor de aislante en los interacumuladores será como mínimo de 40 mm. Cada interacumulador viene aislado de fábrica con 80 mm de espuma rígida de poliuretano, con lo cual cumple la normativa.

11. RESULTADO FINAL EN CHEQ4.

Una vez calculada la red de tuberías, el espesor de aislante de dichas tuberías y la proporción de propilenglicol en agua para formar el anticongelante (parámetros que anteriormente se habían estimado), ya se está en disposición de obtener los resultados con la herramienta CHEQ4.

Introduciendo todos los parámetros obtenemos la siguiente gráfica de resultados de la figura 34:

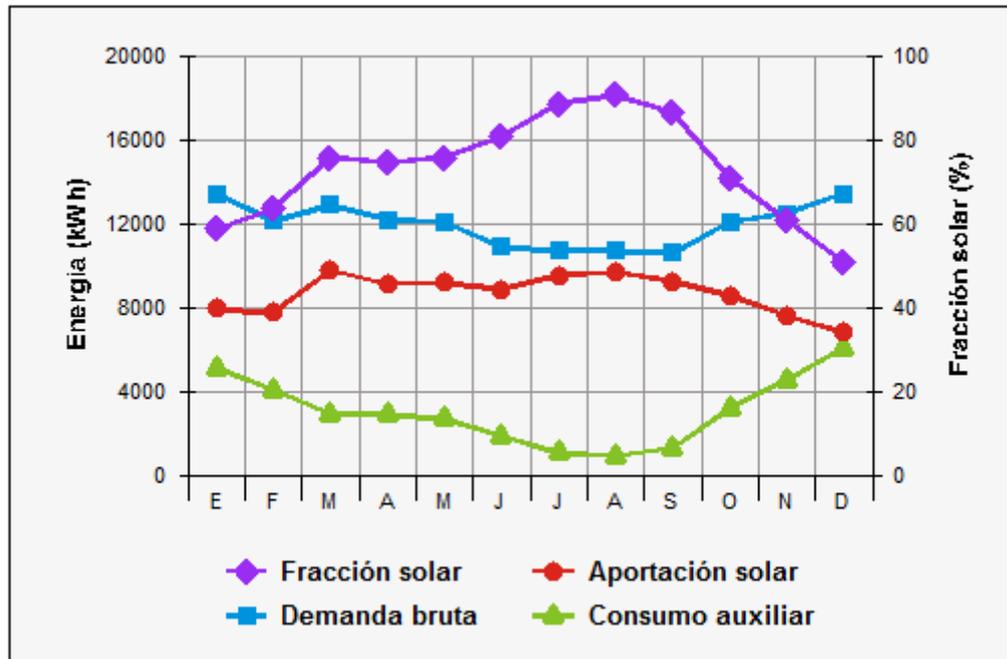


Figura 34: Gráfica de resultados en CHEQ4.

En forma tabulada obtenemos:

Fracción Solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. auxiliar (kWh)	Reducción CO2 (kg)
73	140.552	144.279	104.668	37.297	19.882

Figura 35: Resultados tabulados en CHEQ4.

Podemos observar que la fracción de demanda cubierta debido a la instalación solar es de un 73%, lo que provoca una reducción en emisiones de CO₂ al año de 19.882 Kg.

El certificado obtenido en CHEQ4 que valida el cumplimiento de la contribución solar mínima exigida por la HE4-CTE se puede ver en Anexo A.

12. SISTEMA DE CONTROL Y REGULACIÓN.

12.- Requisitos a cumplir según el CTE.

El sistema de regulación y control se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible, y por otro actúa como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgo de congelación, etc. En lo que respecta al sistema de control el CTE establece:

1. El sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas, etc.
2. En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial y, en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7°C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2°C.
3. Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior, en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.
4. El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.
5. El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la congelación del fluido.
6. Alternativamente al control diferencial, se podrán usar sistemas de control accionados en función de la radiación solar.
7. Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.

El CTE también menciona el sistema de medida y dice lo siguiente:

1. Además de los aparatos de medida de presión y temperatura que permiten la correcta operación, para el caso de instalaciones mayores de 20 m² se deberá disponer al menos de un sistema analógico de medida local y registro de datos que indique como mínimo las siguientes variables:
 - a) Temperatura de entrada del agua fría de red.
 - b) Temperatura de salida del acumulador solar.
 - c) Caudal de agua fría de red
2. El tratamiento de los datos proporcionará al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

12.2- Centralita de regulación.

La regulación del sistema se realizará mediante dos reguladores diferenciales de temperatura. Uno se encargará de activar y desactivar la bomba del primario en función de la diferencia de temperatura entre la salida de captadores y la parte inferior del interacumulador que se encuentra a menor temperatura. El otro se encargará de activar y desactivar el sistema auxiliar (bombas y caldera) en función de la temperatura del acumulador auxiliar. En la memoria descriptiva se puede ver el esquema de principio de la instalación y una descripción más detallada del funcionamiento del sistema.

Para dicha regulación se han seleccionado dos reguladores iguales. Se ha optado por un regulador diferencial de la marca Sorel, modelo LTDC (Para ver sus características acudir a Anexo B.4).



Figura 36: Detalle regulador diferencial LTDC.

ANEXOS

Anexo A: Certificado de cumplimiento obtenido en CHEQ4 (Pg 77 y 78).

Anexo B: Catálogos (Pg 79 a 84)

Anexo B.1: Captador Viessmann Vitosol 200-FM SV2F (Pg 79)

Anexo B.2: Interacumulador Lapesa MASTER INOX MXV SS2B (Pg 80 y 81)

Anexo B.3: Bomba de circulación wilo Veroline IPL 32/105 – 0,75/2 (Pg 82)

Anexo B.4: Centralita reguladora diferencial Sorel LTDC (Pg 83)

Anexo B.5: Vaso de expansión (Pg 84)

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

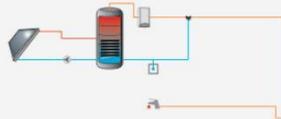
Datos del proyecto

Nombre del proyecto	TFG Eloy
Comunidad	
Localidad	
Dirección	

Datos del autor

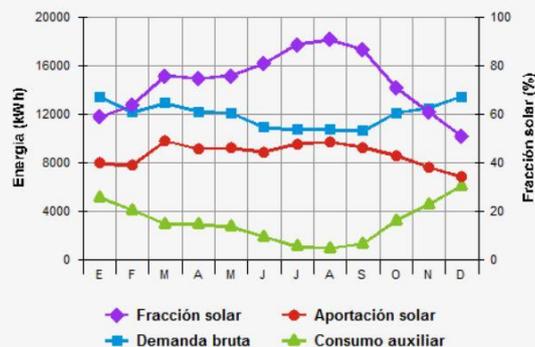
Nombre	Eloy José García Rodríguez
Empresa o institución	Universidad de Sevilla
Email	
Teléfono	

Características del sistema solar



Localización de referencia	Sevilla (Sevilla)
Altura respecto la referencia [m]	0
Sistema seleccionado	Instalación de consumidor único con interacumulador
Demanda [l/día a 60°C]	7.457
Ocupación %	Ene: 100, Feb: 100, Mar: 100, Abr: 100, May: 100, Jun: 100, Jul: 100, Ago: 100, Sep: 100, Oct: 100, Nov: 100, Dic: 100

Resultados



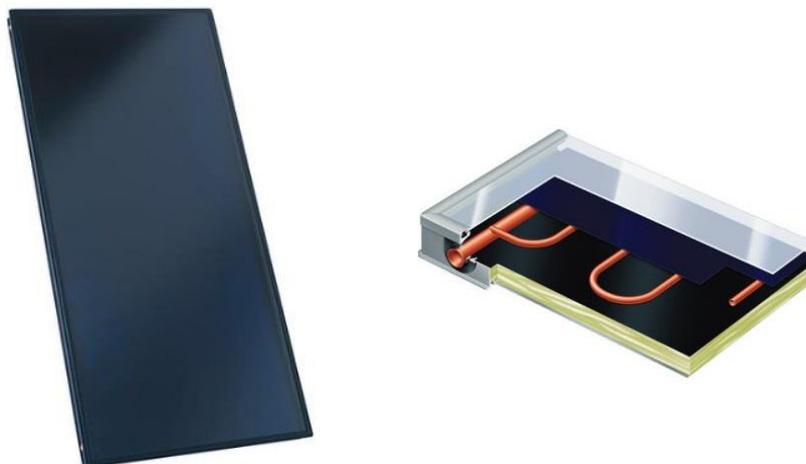
Fracción solar [%]	73
Demanda neta [kWh]	140.552
Demanda bruta [kWh]	144.279
Aporte solar [kWh]	104.668
Consumo auxiliar [kWh]	37.297
Reducción de emisiones de [kg de CO2]	19.882

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

Parámetros del sistema		Verificación en obra
Campo de captadores		
Captador seleccionado	VITOSOL 200-FM SV2F (Viessmann)	<input type="checkbox"/>
Contraseña de certificación	NPS-2617	<input type="checkbox"/>
Número de captadores	72,0	<input type="checkbox"/>
Número de captadores en serie	2,0	<input type="checkbox"/>
Pérdidas por sombras (%)	0,0	<input type="checkbox"/>
Orientación [°]	0,0	<input type="checkbox"/>
Inclinación [°]	45,0	<input type="checkbox"/>
Circuito primario/secundario		
Caudal circuito primario [l/h]	5.783,0	<input type="checkbox"/>
Porcentaje de anticongelante [%]	25,0	<input type="checkbox"/>
Longitud del circuito primario [m]	264,0	<input type="checkbox"/>
Diámetro de la tubería [mm]	39,0	<input type="checkbox"/>
Espesor del aislante [mm]	40,0	<input type="checkbox"/>
Tipo de aislante	espuma elastomérica	<input type="checkbox"/>
Sistema de apoyo		
Tipo de sistema	Caldera de condensación	<input type="checkbox"/>
Tipo de combustible	Gas natural	<input type="checkbox"/>
Acumulación		
Volumen [l]	10.000,0	<input type="checkbox"/>
Distribución		
Longitud del circuito de distribución [m]	450,0	<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 polietileno	<input type="checkbox"/>
Temperatura de distribución [°C]	60,0	<input type="checkbox"/>

Anexo B: Catálogos.

Anexo B.1: Captador Viessmann 200-FM SV2F.



Modelo		SV2F ^{††}	SH2F ^{††}	SV2D
Superficie bruta (dato necesario a la hora de solicitar subvenciones)	m ²	2,51	2,51	2,51
Superficie de absorción	m ²	2,32	2,32	2,32
Superficie de apertura	m ²	2,33	2,33	2,33
Distancia entre colectores	mm	21	21	21
Dimensiones				
Anchura	mm	1056	2380	1056
Altura	mm	2380	1056	2380
Profundidad	mm	90	90	90
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de absorción:				
- Rendimiento óptico	%	81,3	81,3	82,0
- Coeficiente de pérdida de calor k_1	W/(m ² · K)	3,675	3,675	3,553
- Coeficiente de pérdida de calor k_2	W/(m ² · K ²)	0,037	0,037	0,023
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie bruta:				
- Rendimiento óptico	%	74,3	74,3	75,7
- Coeficiente de pérdida de calor k_1	W/(m ² · K)	3,691	3,691	3,280
- Coeficiente de pérdida de calor k_2	W/(m ² · K ²)	0,037	0,037	0,021
Capacidad térmica	kJ/(m ² · K)	4,89	5,96	5,47
Peso	kg	41	41	41
Volumen de fluido (medio portador de calor)	Litros	1,83	2,40	1,83
Presión de servicio adm. (consultar el capítulo "Depósito de expansión solar")	bar/MPa	6/0,6	6/0,6	6/0,6
Máx. temperatura de inactividad del colector	°C	145	145	185
Capacidad de producción de vapor				
- Posición de montaje favorable	W/m ²	0 ^{*2}	0 ^{*2}	60
- Posición de montaje desfavorable	W/m ²	0 ^{*2}	0 ^{*2}	100
Conexión	Ø mm	22	22	22

Datos técnicos para determinar la clase de eficiencia energética (etiqueta ErP)

Modelo		SV2F ^{††}	SH2F ^{††}	SV2D
Superficie de apertura	m ²	2,33	2,33	2,33
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de apertura:				
- Rendimiento del colector η_{col} , con una diferencia de temperatura de 40 K	%	63,4	63,4	63,9
- Rendimiento óptico	%	81	81	81,7
- Coeficiente de pérdida de calor k_1	W/(m ² · K)	3,416	3,416	3,538
- Coeficiente de pérdida de calor k_2	W/(m ² · K ²)	0,002	0,002	0,023
Factor de corrección de ángulo IAM		0,91	0,91	0,91

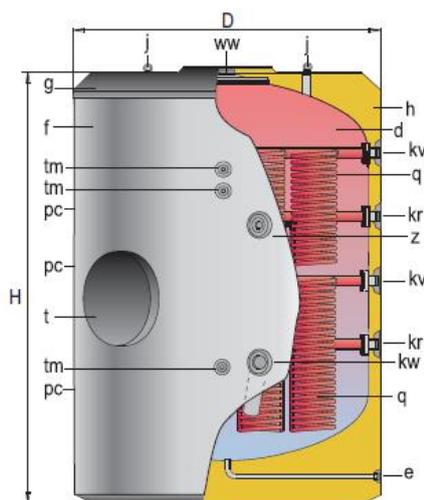
Anexo B.2: Interacumulador Lapesa MASTER INOX SS2B.

DEPÓSITOS ACUMULADORES / PRODUCTORES ACS MASTER INOX - SERPENTÍN

lapesa

MASTER INOX "S2B / SS2B"

Depósitos para **PRODUCCIÓN/ACUMULACIÓN DE ACS**, de **2.000, 3.500, 5.000 y 6.000 litros** de capacidad. Modelos base "SB" y "SSB", con **DOS sistemas desmontables de serpentines** para producción de ACS, a través de dos fuentes energéticas externas combinadas. Con boca lateral de paso de hombre BH DN400 para acceso al interior del depósito, inspección y tratamientos de limpieza y mantenimiento. Aislado térmicamente con espuma rígida de poliuretano PU inyectada en molde, de 80 mm. de espesor, con pieza aislante del mismo material en la BH DN400 lateral. Suministro opcional de conjunto de forro externo acolchado en PVC y conjunto embellecedores, o forrado con chapa de aluminio ALUNOX (pág.: 57).



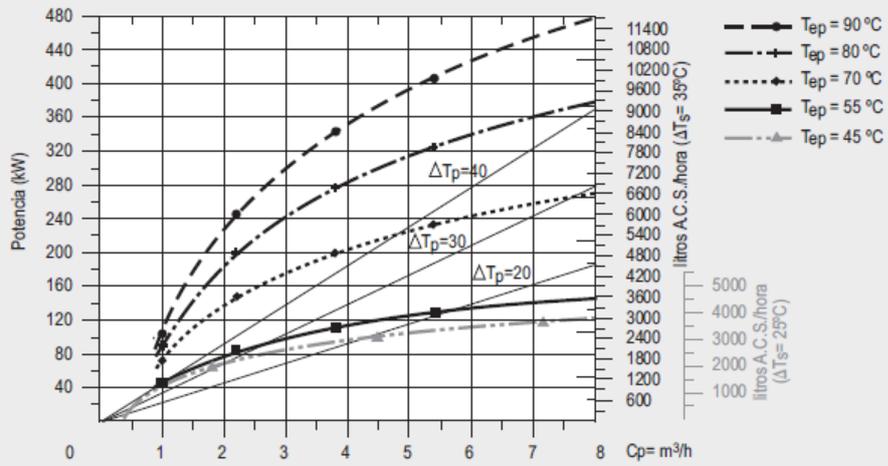
t - Boca de hombre DN 400
d - Depósito acumulación ACS
f - Forro externo
g - Cubierta superior
h - Aislamiento térmico
j - Cáncamos para transporte
q - Serpentines desmontables



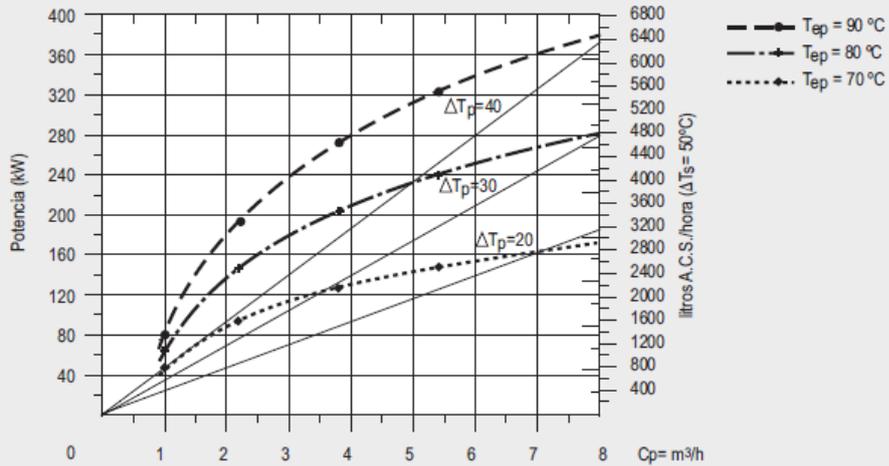
CARACTERÍSTICAS GENERALES		MXV-2000 S2B / SS2B	MXV-3500 S2B / SS2B	MXV-5000 S2B / SS2B	MXV-6000 S2B / SS2B
Capacidad ACS	L.	2000	3500	5000	6000
D: Diámetro exterior	mm.	1360	1660	1910	1910
H: Altura total	mm.	2280	2580	2710	3210
Diagonal	mm.	2655	3068	3316	3735
kw: entrada agua red	" GAS/M	2	3	3	3
ww: salida ACS	" GAS/M	2	3	3	3
z: recirculación ACS	" GAS/M	1 1/2	2	2	2
e: vaciado	" GAS/M	1	1	1	2
pc: conexión "lapesa correx-up"	" GAS/H	3/4	3/4	3/4	3/4
tm: conexión sensores	" GAS/H	1/2	1/2	1/2	1/2
kv: entrada primario	" GAS/M	2	2	2	2
kr: retorno primario	" GAS/M	2	2	2	2
Superficie serpentines conjunto inferior "S2B"	m ²	4,2	6,7	8,4	8,4
Superficie serpentines conjunto inferior "SS2B"	m ²	5,6	8,4	10,0	10,0
Superficie serpentines conjunto superior "S2B" / "SS2B"	m ²	3,0	4,0	5,0	5,0
Peso en vacío (aprox.) "S2B" / "SS2B"	Kg	374 / 394	615 / 630	765 / 790	862 / 874

Nota: El depósito de 6.000 litros incorpora patas de apoyo.

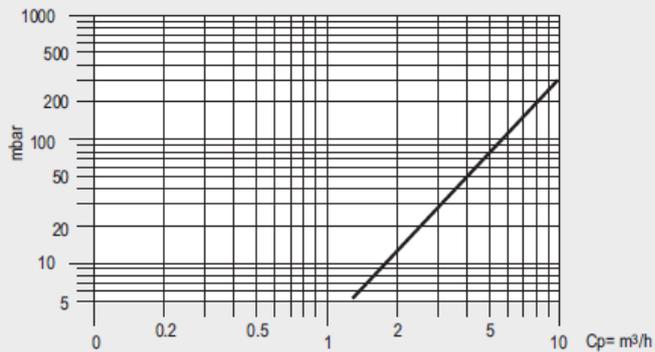
Curvas de potencia para diferentes caudales y temperaturas de circuito primario para producción de A.C.S. con un calentamiento de 10°C → 45°C
(Para $T_{ep}=45^\circ\text{C}$ el calentamiento es de 10°C → 35°C)



Curvas de potencia para diferentes caudales y temperaturas de circuito primario para producción de A.C.S. con un calentamiento de 10°C → 60°C



Pérdidas de carga entre conexiones de entrada y salida de circuito primario para diferentes caudales de circulación.



Anexo B.3: Bomba de circulación wilo Veroline IPL 32/105 – 0,75/2.

Datos técnicos: Wilo-Veroline-IPL

Fluidos admisibles (se pueden solicitar otros)

Agua de calefacción (según VDI 2035)	•
Mezclas agua-glicol (para 20-40 % en volumen de glicol y temperatura del fluido ≤ 40 °C)	•
Agua fría y de refrigeración	•
Aceite portador de calor	Ejecución especial con cargo adicional

Campo de aplicación autorizado

Ejecución estándar para presión de trabajo	p_{max}	10 bar
Ejecución especial para presión de trabajo	p_{max}	16 bar
Rango de temperaturas con temperatura ambiente máx. +40 °C		De -20 a +120 °C (en función del fluido de impulsión)
Temperatura ambiente máx.		+40 °C
Instalación en el interior		•
Instalación a la intemperie		Ejecución especial con cargo adicional

Conexiones de tubería

Conexión roscada	–
Diámetros de conexión DN	32-100
Brida (según EN 1092-2)	PN 10 (PN 16 bajo consulta)
Brida con conexiones de medición de presión	R 1/8

Materiales

Carcasa de la bomba	EN-GJL-250
Linterna	EN-GJL-250
Rodete	PPO-GF30
Rodete (ejecución especial)	–
Eje de bomba	1.4021 [AISI420]
Cierre mecánico	AQEGG
Otros cierres mecánicos	a petición

Conexión eléctrica

Alimentación eléctrica	3-400 V, 50 Hz
Velocidad nominal	n 1450/2900 rpm

Motor/componentes electrónicos

Protección total de motor integrada	Ejecución especial con termistor (TMT) con cargo adicional
Tipo de protección	IP 55
Clase de aislamiento	F
Regulación de la velocidad	Sistema de regulación Wilo
Bobinado del motor hasta 3 kW	230 V Δ/400 V Y, 50 Hz
Bobinado del motor a partir de 4 kW	400 V Δ/690 V Y, 50 Hz

Posibilidades de montaje

Anexo B.4: Centralita reguladora diferencial Sorel LTDC.



LTDC

Entradas para Pt1000 sensores	6
Salidas de relés 230V*	3
Salidas 0..10V o PWM	2
de ellas con control de velocidad para bombas de alta eficiencia	2
VFS/RPS sensores	2
Cantidad de esquemas	42+
LEDs rojo/verde para mostrar estado	1
Contador de energía simple	Sí
Contador de energía por caudal (VFS Sensor)	Sí
Medición presión (RPS Sensor)	Sí
Termostato programable por hora y temperatura	Sí
Reloj de tiempo real RTC con batería	Sí
Función legionela por solar	Sí
Función legionela por energía auxiliar	Sí
Función de enfriamiento	Sí
Asistente de puesta en marcha	Sí
Protección sistema	Sí
Protección captador	Sí
Protección depósito	Sí
Programas para protección contra congelación	Sí
Refrigeración nocturna	Sí
Ayuda de arranque para tubos de vacío	Sí
Programa de control para sistemas Drain-Back	Sí
Memoria con estadísticas y evaluaciones	Sí
Memoria de errores y evaluación con hora y fecha	Sí
Bloqueo del menú	Sí
Conexión ethernet con software PC opcional	Sí

Anexo B.5: Vaso de expansión.

VASOS DE EXPANSIÓN

CMF

Vasos de expansión de membrana

Sistemas cerrados de calefacción y refrigeración

- Membrana no recambiable según EN 13831 (no potable)
- Conexión de agua cincada (De 5 a 35 CMF)
- Temperatura: -10° C +100° C
- Pintura epoxi roja
- Precarga de aire: 1,5 bar
- Certificado CE, conforme a la Directiva 97/23/CE



Peso (Kg)	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua
					Ø D (mm)	H (mm)	
7	02035345	35 CMF	35	4	360	480	3/4 "
7,5	02050343	50 CMF	50	4	360	630	3/4 "
16	04080351	80 CMF	80	6	485	570	1 "
18	04100351	100 CMF	100	6	485	650	1 "
24	04140351	140 CMF	140	6	485	935	1 "
36	04200351	200 CMF	200	6	600	860	1 "
44	04250351	250 CMF	250	6	600	1095	1 "
49	04300351	300 CMF	300	6	600	1240	1 "
56	04400351	400 CMF	400	6	600	1480	1 "

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

El objeto de este documento es fijar las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones solares térmicas para calentamiento de ACS, especificando los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad.

Se especificarán todos los componentes y materiales utilizados, montaje de los equipos, pruebas a realizar y puesta en marcha, así como el mantenimiento que se debe llevar a cabo durante la vida útil de la instalación.

El ámbito de aplicación de este documento se extiende a todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de la instalación.

En determinados supuestos para los proyectos se podrán adoptar, por la propia naturaleza del mismo o del desarrollo tecnológico, soluciones diferentes a las exigidas en este documento, siempre que quede suficientemente justificada su necesidad y que no impliquen una disminución de las exigencias mínimas de calidad especificadas en el mismo.

2. NORMATIVA APLICABLE Y DE CONSULTA.

Los equipos y materiales, así como las tareas y obras a realizar, además de lo estipulado en el presente documento, se regirán por la siguiente normativa.

2.1- Normativa aplicable.

- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE).
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Equipos a Presión (RAP) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT).
- Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT)
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Real Decreto 891/1980, de 14 de abril, sobre homologación de captadores solares.
- Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares.
- Orden ITC/71/2007, de 22-01-2007, por la que se modifica el anexo de la Orden 28-07-1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- Igualmente se cumplirá con toda la normativa de carácter regional y local (Ordenanzas, etc.)

2.2- Normativa de consulta.

- Norma UNE-EN 12975-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.
- Norma UNE-EN 12975-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.
- Norma UNE-EN 12977-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 1: Requisitos generales.
- Norma UNE-EN 12977-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 2: Métodos de ensayo.
- Norma UNE-EN 806-1: Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios. Parte 1: Generalidades.

3. SEGURIDAD EN EL TRABAJO.

Las tareas de montaje, pruebas de funcionamiento y puesta en marcha, así como el mantenimiento de la instalación se realizarán siempre respetando las condiciones que se establecen en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales en materia de seguridad.

Durante la fase de montaje y la fase de pruebas, el contratista, estará obligado a cumplir con las condiciones de dicha normativa y se asegurará de que las tareas a realizar no entrañen peligro para los trabajadores. Para los riesgos existentes, se deberán tomar todas las medidas preventivas que se considere necesario hasta eliminar o minimizar (en caso de no poder eliminar) dichos riesgos. Entre otros, algunos de los riesgos más importantes a tener en cuenta serán:

- Caída de personas a distinto nivel.
- Caída de personas al mismo nivel.
- Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.
- Golpes/cortes por objeto o herramienta.
- Contactos térmicos.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Exposición a radiaciones.
- Incendios.

4. COMPONENTES.

Los materiales de la instalación deben soportar las máximas temperaturas y presiones que puedan alcanzarse.

Todos los componentes y materiales cumplirán lo dispuesto en el Reglamento de Aparatos a Presión, que les sea de aplicación.

Cuando sea imprescindible utilizar en el mismo circuito, materiales diferentes, especialmente cobre y acero, en ningún caso estarán en contacto, debiendo situar entre ambos juntas o manguitos dieléctricos.

En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero.

Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.

Se debe tener particular precaución en la protección de equipos y materiales que pueden estar expuestos a agentes exteriores especialmente agresivos producidos por procesos industriales cercanos.

4.1- Captadores solares.

El captador seleccionado debe estar en posesión del certificado que acredite su homologación según el Real Decreto 891/1980, de 14 de abril, o bien obtener dicha homologación según la Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares.

Si se utilizan captadores convencionales de absorbedor metálico, ha de tenerse en cuenta que el cobre solamente es admisible si el pH del fluido en contacto con él está comprendido entre 7,2 y 7,6.

Cuando se utilicen captadores con absorbedores de aluminio, obligatoriamente se utilizarán fluidos de trabajo con un tratamiento inhibidor de los iones de cobre y hierro.

Los captadores con absorbente de hierro no pueden ser utilizados bajo ningún concepto.

La pérdida de carga del captador para un caudal de 1 l/min por m² será inferior a 1 m c.a.

El captador llevará, preferentemente, un orificio de ventilación, de diámetro no inferior a 4 mm, situado en la parte inferior de forma que puedan eliminarse acumulaciones de agua en el captador. El orificio se realizará de manera que el agua pueda drenarse en su totalidad sin afectar al aislamiento.

Las características ópticas del tratamiento superficial aplicado al absorbedor, no deben quedar modificadas substancialmente en el transcurso del periodo de vida previsto por el fabricante, incluso en condiciones de temperaturas máximas del captador.

Se montará el captador, entre los diferentes tipos existentes en el mercado, que mejor se adapte a las características y condiciones de trabajo de la instalación, siguiendo siempre las especificaciones y recomendaciones dadas por el fabricante.

El captador llevará en lugar visible una placa en la que consten, como mínimo, los siguientes datos:

- Nombre y domicilio de la empresa fabricante.
- Modelo de captador.
- Tipo de captador.
- Número de serie.
- Año de fabricación
- Área total del captador.
- Dimensiones del captador.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m^2 y 30°C .
- Capacidad de líquido.
- Peso del captador en vacío.

Esta placa estará redactada como mínimo en castellano y podrá ser impresa o grabada con la condición que asegure que los caracteres permanecen indelebles.

4.2- Acumuladores.

El acumulador llevará una placa o etiqueta identificadora en un lugar visible con los siguientes datos:

- Marcado CE, si procede.
- Nombres y señas de identificación del fabricante.
- Marca y modelo.
- Año y número de fabricación.
- Volumen en litros.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura máxima de trabajo.

Además cuando el intercambiador esté incorporado al acumulador, la placa de identificación indicará además, los siguientes datos:

- Superficie de intercambio térmico en m^2 .
- Presión máxima de trabajo del circuito primario.

Cada acumulador vendrá equipado de fábrica de los necesarios manguitos de acoplamiento, soldados antes del tratamiento de protección, para las siguientes funciones:

- Manguitos roscados para la entrada de agua fría y la salida de agua caliente.
- Registro embrizado para inspección del interior del acumulador y eventual acoplamiento del serpentín.
- Manguitos roscados para la entrada y salida del fluido primario.
- Manguitos roscados para accesorios como termómetros y termostatos.
- Manguito para el vaciado.

El acumulador estará enteramente recubierto con material aislante y, es recomendable disponer una protección mecánica en chapa pintada al horno, PRFV, o lámina de material plástico.

Todos los acumuladores irán equipados con la protección catódica o anticorrosiva establecida por el fabricante para garantizar su durabilidad.

En general podrán utilizarse acumuladores de las características y tratamientos descritos a continuación:

- Acumuladores de acero vitrificado con protección catódica.
- Acumuladores de acero con un tratamiento que asegure la resistencia a temperatura y corrosión con un sistema de protección catódica.
- Acumuladores de acero inoxidable adecuado al tipo de agua y temperatura de trabajo.
- Acumuladores de cobre.
- Acumuladores no metálicos que soporten la temperatura máxima del circuito y esté autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable.
- Acumuladores de acero negro (Solo en circuitos cerrados, cuando el agua de consumo pertenezca a un circuito terciario).

Los acumuladores se ubicarán en lugares adecuados que permitan su sustitución por envejecimiento o averías.

4.3- Intercambiadores de calor.

Se indicará el fabricante y modelo del intercambiador de calor, así como datos de sus características de actuación medidos por el propio fabricante o por un laboratorio acreditado.

El intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima de trabajo de la instalación.

Los materiales del intercambiador de calor resistirán la temperatura máxima de trabajo del circuito primario y serán compatibles con el fluido de trabajo.

Los intercambiadores de calor utilizados en circuitos de agua sanitaria serán de acero inoxidable o cobre.

El diseño del intercambiador de calor permitirá su limpieza utilizando productos líquidos.

Si en una instalación a medida sólo se usa un intercambiador entre el circuito de captadores y el acumulador, la transferencia de calor del intercambiador de calor por unidad de área de captador no debería ser menor de $40 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$.

La pérdida de carga de diseño en el intercambiador de calor no será superior a 3 m.c.a, tanto en el circuito primario como en el secundario.

El fabricante del intercambiador de calor garantizará un factor de ensuciamiento menor al permitido en los Criterios de Dimensionado y Cálculo de Instalaciones de Energía Solar Térmica.

4.4- Bombas de circulación.

La bomba de circulación llevará una placa de identificación en un lugar claramente visible, en la cual se especificarán los siguientes datos:

- Fabricante.
- Marca y modelo.
- Número de serie.
- Características eléctricas

Las bombas podrán ser del tipo en línea (de rotor seco o húmedo) o de bancada. Siempre que sea posible se utilizarán bombas tipo circuladores en línea.

En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.

Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

Las bombas serán resistentes a las averías producidas por efecto de las incrustaciones calizas.

Las bombas serán resistentes a la presión máxima del circuito.

La bomba se seleccionará de forma que el caudal y la pérdida de carga de diseño se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificado por el fabricante.

La presión de la bomba deberá compensar todas las pérdidas de carga del circuito correspondiente.

La potencia eléctrica parásita para la bomba no debería exceder de los siguientes valores:

- Sistemas pequeños: 50W o 2% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores.
- Sistemas grandes: 1% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores.

4.5- Tuberías.

En las tuberías del circuito primario podrán utilizarse como materiales el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas.

En el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria podrá utilizarse cobre y acero inoxidable. Además, podrán utilizarse materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito, cumplan las normas UNE que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las Compañías de suministro de agua potable.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y uniones por capilaridad (UNE 37153).

No se utilizarán tuberías de acero negro para circuitos de agua sanitaria.

Cuando se utilice aluminio en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 1,5 m/s y su pH estará comprendido entre 5 y 7. No se permitirá el uso de aluminio en sistemas abiertos o sistemas sin protección catódica.

Cuando se utilice acero en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y el pH del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9.

El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discorra por locales habitados y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.

El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal.

Las pérdidas térmicas globales del conjunto de conducciones no superarán el 4% de la potencia máxima que transporten.

Todas las redes de tuberías deben diseñarse de tal manera que puedan vaciarse de forma parcial y total, a través de un elemento que tenga un diámetro nominal mínimo de 20 mm.

4.6- Válvulas.

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo preferentemente los criterios que a continuación se citan:

- Para aislamiento: Válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: Válvulas de asiento.
- Para vaciado: Válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: Válvulas de esfera.
- Para purga de aire: Válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: Válvulas de resorte.
- Para retención: Válvulas de disco de doble compuerta o de clapeta.

En el cuerpo de la válvula irán troquelados la presión nominal PN, expresada en bar o kg/cm^2 , y el diámetro nominal DN, expresado en mm o pulgadas, al menos cuando el diámetro sea igual o superior a 25 mm.

La presión nominal mínima de todo tipo de válvulas y accesorios deberá ser igual o superior a 4 kg/cm^2 .

Las válvulas de seguridad, por su importante función, deben ser capaces de derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso en forma de vapor, de manera que en ningún caso se sobrepase la máxima presión de trabajo del captador o del sistema.

Las válvulas de retención se situarán en la tubería de impulsión de la bomba, entre la boca y el manguito antivibratorio, y en cualquier caso, aguas arriba de la válvula de interceptación.

4.7- Vasos de expansión.

Los vasos de expansión serán siempre cerrados. Llevarán una placa de identificación en un lugar visible con los siguientes datos:

- Marcado CE, si procede.
- Nombre y señas de identidad del fabricante.
- Marca y modelo.
- Año y número de fabricación.
- Volumen total en litros.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura máxima de trabajo.

Los vasos de expansión irán ubicados, a ser posible, antes de la bomba de circulación.

Los vasos de expansión cerrados cumplirán con el Reglamento de Recipientes a Presión y estarán debidamente timbrados.

Se recomienda que los vasos de expansión utilizados en los circuitos primarios tengan una temperatura máxima de funcionamiento superior a 100 °C pero, en cualquier caso, se adoptaran las medidas necesarias (vaso tampón, tubería de enfriamiento, etc.), para que no llegue al vaso fluido a temperatura superior a la que el mismo pueda soportar.

En casos de fugas, los vasos de expansión deberían presurizarse con nitrógeno puro. El uso de aire no es aconsejable porque puede reducir la vida útil.

El cuerpo exterior del depósito será de acero, timbrado y estará construido de forma que sea accesible la membrana interior de expansión. El interior tendrá un tratamiento anticorrosivo y exteriormente un doble tratamiento antioxidante con acabado pintado al duco o esmaltado al horno.

El depósito estará dividido en dos cámaras herméticas entre sí, por la membrana de dilatación, construida en caucho butílico o polipropileno, con elasticidades recuperables a temperaturas inferiores a 60°C, sin degradación del material. La cámara de expansión de gas estará rellena con nitrógeno u otro gas inerte disponiendo de acometida para reposición.

4.7- Aislamientos.

El espesor de aislamiento para tuberías nunca será inferior que el especificado en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). El espesor mínimo del aislamiento de acumuladores será el que corresponda a las tuberías de más de 140 mm de diámetro.

El material aislante se sujetará con medios adecuados, de forma que no pueda desprenderse de las tuberías o accesorios.

En el caso de que el aislamiento esté basado en espuma elastomérica se podrán usar pinturas plásticas impermeables cuya exposición prolongada al sol no afecte a sus propiedades fundamentales.

El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

Para la protección del material aislante situado en intemperie se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio. En el caso de depósitos o cambiadores de calor situados en intemperie, podrán utilizarse forros de telas plásticas.

4.9- Purga de aire.

En general, el trazado del circuito evitará los caminos tortuosos, para favorecer el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos altos. Los trazados horizontales de tubería tendrán siempre una pendiente mínima del 1 % en el sentido de circulación.

Los purgadores automáticos de aire se construirán con los siguientes materiales:

- Cuerpo y tapa de fundición de hierro.
- Mecanismo de acero inoxidable.
- Flotador y asiento de acero inoxidable.
- Obturador de goma sintética.

Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Los purgadores automáticos deberán soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del captador, y en cualquier caso hasta 130 °C.

4.10- Sistema de llenado.

Los circuitos con vaso de expansión cerrado deben incorporar un sistema de llenado manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado. En general es recomendable la adopción de un sistema de llenado automático con la inclusión de un depósito de recarga u otro dispositivo.

Nunca podrá rellenarse el circuito primario con agua de red si sus características pueden dar lugar a incrustaciones, deposiciones o ataques en el circuito, o si este circuito necesita anticongelante por riesgo de heladas o cualquier otro aditivo para su correcto funcionamiento.

Las instalaciones que requieran anticongelante deben incluir un sistema que permita el relleno manual del mismo.

Para disminuir los riesgos de fallos se evitarán los aportes incontrolados de agua de reposición a los circuitos cerrados y la entrada de aire que pueda aumentar los riesgos de corrosión originados por el oxígeno del aire. Es aconsejable no usar válvulas de llenado automáticas.

4.11- Sistema eléctrico y de control.

El sistema eléctrico y de control cumplirá con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) en todos aquellos puntos que sean de aplicación. Los cuadros serán diseñados siguiendo los requisitos de estas especificaciones y se construirán de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y con las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

El usuario estará protegido contra posibles contactos directos e indirectos.

El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de la alimentación del sistema del funcionamiento de bombas.

Los sensores de temperaturas soportarán las máximas temperaturas previstas en el lugar en que se ubiquen.

La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la parte en la cual hay que medir la misma. Para conseguirlo en el caso de las de inmersión, se instalarán en contracorriente con el fluido. Los sensores de temperatura deberán estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que le rodean.

La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que éstas midan exactamente las temperaturas que se desean controlar, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento en los depósitos.

Preferentemente, las sondas serán de inmersión.

5. CONDICIONES DE MONTAJE.

En este apartado se describen los requisitos mínimos a cumplir durante el montaje de la instalación solar térmica.

5.1- Generalidades.

La instalación se construirá en su totalidad utilizando materiales y procedimientos de ejecución que garanticen las exigencias del servicio, durabilidad, salubridad y mantenimiento.

Se tendrán en cuenta las especificaciones dadas por los fabricantes de cada uno de los componentes.

A efectos de las especificaciones de montaje de la instalación, éstas se complementarán con la aplicación de las reglamentaciones vigentes que tengan competencia en cada caso.

Es responsabilidad del suministrador comprobar que el edificio reúne las condiciones necesarias para soportar la instalación, indicándolo expresamente en la documentación.

Es responsabilidad del suministrador el comprobar la calidad de los materiales y agua utilizados, cuidando que se ajusten a lo especificado en las normas de aplicación, y evitar el uso de materiales incompatibles entre sí.

El suministrador será responsable de la vigilancia de sus materiales durante el almacenaje y el montaje, hasta la recepción provisional.

Las aperturas de conexión de todos los aparatos y máquinas deberán estar convenientemente protegidas durante el transporte, el almacenamiento y el montaje, hasta tanto no se proceda a su unión, por medio de elementos de taponamiento de forma y resistencia adecuada para evitar la entrada de cuerpos extraños y suciedades dentro del aparato.

Especial cuidado se tendrá con materiales frágiles y delicados, como luminarias, mecanismos, equipos de medida, etc., que deberán quedar debidamente protegidos.

Durante el montaje, el suministrador deberá evacuar de la obra todos los materiales sobrantes de trabajos efectuados con anterioridad, en particular de retales de conducciones y cables.

Asimismo, al final de la obra, deberá limpiar perfectamente todos los equipos (captadores, acumuladores, etc.), cuadros eléctricos, instrumentos de medida, etc. de cualquier tipo de suciedad, dejándolos en perfecto estado.

Antes de su colocación, todas las canalizaciones deberán reconocerse y limpiarse de cualquier cuerpo extraño, como rebabas, óxidos, suciedades, etc.

La alineación de las canalizaciones en uniones y cambios de dirección se realizará con los correspondientes accesorios y/o cajas, centrando los ejes de las canalizaciones con los de las piezas especiales, sin tener que recurrir a forzar la canalización.

En las partes dañadas por roces en los equipos, producidos durante el traslado o el montaje, el suministrador aplicará pintura rica en zinc u otro material equivalente.

La instalación de los equipos, válvulas y purgadores permitirá su posterior acceso a las mismas a efectos de su mantenimiento, reparación o desmontaje.

Una vez instalados los equipos, se procurará que las placas de características de estos sean visibles.

Todos los elementos metálicos que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por el fabricante, serán recubiertos con dos manos de pintura antioxidante.

Los circuitos de distribución de agua caliente sanitaria se protegerán contra la corrosión por medio de ánodos de sacrificio.

Todos los equipos y circuitos podrán vaciarse total o parcialmente, realizándose esto desde los puntos más bajos de la instalación.

Las conexiones entre los puntos de vaciado y desagües se realizarán de forma que el paso del agua quede perfectamente visible.

Los botellines de purga estarán siempre en lugares accesibles y, siempre que sea posible, visibles.

5.2- Montaje de estructura soporte y captadores.

La estructura soporte se fijará al edificio de forma que resista las cargas indicadas en el proyecto.

La sujeción de los captadores a la estructura resistirá las cargas del viento y nieve, pero el sistema de fijación permitirá, si fuera necesario, el movimiento del captador de forma que no se transmitan esfuerzos de dilatación.

Se montarán los captadores de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se tendrá en cuenta las recomendaciones de éste en relación con los periodos prolongados expuestos al sol y la forma de mantener el conexionado para que no entre suciedad en los circuitos.

La conexión entre captadores podrá realizarse con accesorios metálicos, manguitos o tuberías flexibles.

La instalación permitirá el acceso a los captadores de forma que su desmontaje sea posible en caso de rotura, pudiendo desmontar cada captador con el mínimo de actuaciones sobre los demás.

Terminado el montaje, durante el tiempo previo al arranque de la instalación, si se prevé que éste pueda prolongarse, el suministrador procederá a tapar los captadores.

5.3- Montaje de acumuladores.

La estructura soporte para depósitos y su fijación se realizará según la normativa vigente.

Los acumuladores e intercambiadores se montarán de acuerdo con las especificaciones de proyecto y siguiendo las instrucciones del fabricante.

La estructura soporte y su fijación para depósitos de más de 1.000 litros situados en cubiertas o pisos deberá ser diseñada por un profesional competente.

5.4- Montaje de la bomba.

Las bombas se instalarán de acuerdo con las instrucciones del fabricante y con espacio suficiente para que puedan ser desmontadas con facilidad y sin necesidad de desarmar las tuberías adyacentes.

El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

Las tuberías conectadas a las bombas en línea se soportarán en las inmediaciones de las bombas de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos.

La conexión de las tuberías a las bombas no podrá provocar esfuerzos recíprocos (se utilizarán manguitos antivibratorios cuando la potencia de accionamiento sea superior a 700 W).

Todas las bombas estarán dotadas de tomas para la medición de presiones en aspiración e impulsión.

Todas las bombas deberán protegerse, aguas arriba, por medio de la instalación de un filtro de malla o tela metálica.

5.5- Montaje de tuberías y accesorios.

Antes del montaje deberá comprobarse que las tuberías no estén rotas, fisuradas, dobladas, aplastadas, oxidadas o de cualquier manera dañadas.

Se almacenarán en lugares donde estén protegidas contra los agentes atmosféricos. En su manipulación se evitarán roces, rodaduras y arrastres, que podrían dañar la resistencia mecánica, las superficies calibradas de las extremidades o las protecciones anti-corrosión.

Las piezas especiales, manguitos, gomas de estanqueidad, etc, se guardarán en locales cerrados.

Las tuberías serán instaladas de forma ordenada, utilizando fundamentalmente tres ejes perpendiculares entre sí y paralelos a elementos estructurales del edificio, salvo las pendientes que deban darse.

Las tuberías se instalarán lo más próximas posible a paramentos, dejando el espacio suficiente para manipular el aislamiento y los accesorios. En cualquier caso, la distancia mínima de las tuberías o sus accesorios a elementos estructurales será de 5 cm.

Las tuberías discurrirán siempre por debajo de canalizaciones eléctricas que crucen o corran paralelamente.

La distancia en línea recta entre la superficie exterior de la tubería, con su eventual aislamiento, y la del cable eléctrico o tubo protector no debe ser inferior a:

- 5 cm para cables bajo tubo con tensión inferior a 1000 V.
- 30 cm para cables sin protección con tensión inferior a 1000 V.
- 50 cm para cables con tensión superior a 1000 V.

Las tuberías no se instalarán nunca encima de equipos eléctricos, como cuadros o motores.

No se permitirá la instalación de tuberías en huecos y salas de máquinas de ascensores, centros de transformación, chimeneas y conductos de climatización o ventilación.

Las conexiones de las tuberías a los componentes se realizarán de forma que no se transmitan esfuerzos mecánicos.

Las conexiones de componentes al circuito deben ser fácilmente desmontables mediante bridas o racores, con el fin de facilitar su sustitución o reparación.

Los cambios de sección en tuberías horizontales se realizarán de forma que se evite la formación de bolsas de aire, mediante manguitos de reducción excéntricos o enrasado de generatrices superiores para uniones soldadas.

Para evitar la formación de bolsas de aire, los tramos horizontales de tubería se montarán siempre con una pendiente ascendente, en el sentido de circulación, del 1 %.

Se facilitarán las dilataciones de tuberías utilizando los cambios de dirección o dilatadores axiales.

Las uniones de tuberías de acero podrán ser por soldadura o roscadas. Las uniones con valvulería y equipos podrán ser roscadas hasta 2"; para diámetros superiores se realizarán las uniones por bridas.

En ningún caso se permitirán ningún tipo de soldadura en tuberías galvanizadas.

Las uniones de tuberías de cobre se realizarán mediante manguitos soldados por capilaridad.

En circuitos abiertos el sentido de flujo del agua deberá ser siempre del acero al cobre.

El dimensionado, distancias y disposición de los soportes de tubería se realizará de acuerdo con las prescripciones de UNE 100.152.

Durante el montaje de las tuberías se evitarán en los cortes para la unión de tuberías, las rebabas y escorias.

En las ramificaciones soldadas el final del tubo ramificado no debe proyectarse en el interior del tubo principal.

Los sistemas de seguridad y expansión se conectarán de forma que se evite cualquier acumulación de suciedad o impurezas.

Las dilataciones que sufren las tuberías al variar la temperatura del fluido, deben compensarse a fin de evitar roturas en los puntos más débiles, que suelen ser las uniones entre tuberías y aparatos, donde suelen concentrarse los esfuerzos de dilatación y contracción.

En las salas de máquinas se aprovecharán los frecuentes cambios de dirección, para que la red de tuberías tenga la suficiente flexibilidad y pueda soportar las variaciones de longitud.

En los trazados de tuberías de gran longitud, horizontales o verticales, se compensarán los movimientos de tuberías mediante dilatadores axiales.

5.6- Montaje de aislamiento.

El aislamiento no podrá quedar interrumpido al atravesar elementos estructurales del edificio.

El manguito pasamuros deberá tener las dimensiones suficientes para que pase la conducción con su aislamiento, con una holgura máxima de 3 cm.

Tampoco se permitirá la interrupción del aislamiento térmico en los soportes de las conducciones, que podrán estar o no completamente envueltos por el material aislante.

El puente térmico constituido por el mismo soporte deberá quedar interrumpido por la interposición de un material elástico (goma, fieltro, etc.) entre el mismo y la conducción.

Después de la instalación del aislamiento térmico, los instrumentos de medida y de control, así como válvulas de desagües, volante, etc., deberán quedar visibles y accesibles.

Las franjas y flechas que distinguen el tipo de fluido transportado en el interior de las conducciones se pintarán o se pegarán sobre la superficie exterior del aislamiento o de su protección.

6. PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y RECEPCIÓN.

6.1- Generalidades.

La ejecución de la instalación termina con la entrega de la instalación al promotor o usuario para iniciar el periodo de uso así como el de mantenimiento. La entrega se realiza en el proceso de recepción que intercala un periodo de tiempo transitorio (desde la provisional a la definitiva). Para realizar la recepción de la instalación deberían estar realizadas, además del montaje completo, las pruebas y ajustes especificados, así como la puesta en marcha. En el documento de Control de Ejecución CE se recogerán las pruebas parciales, finales y funcionales realizadas, la fecha en las que tuvieron lugar, los resultados obtenidos y el grado de cumplimiento de las expectativas.

6.2- Pruebas parciales.

Todas las pruebas estarán precedidas de una comprobación de los materiales al momento de su recepción a obra. Durante la ejecución de obra, todos los tramos de tubería, uniones o elementos que vayan a quedar ocultos, deberían ser expuestos para su inspección y debería quedar expresamente aprobado su montaje antes de quedar ocultos.

Prueba de equipos: Los materiales y componentes deberían llegar a obra con Certificación de Origen Industrial, que acredite el cumplimiento de la normativa en vigor. Su recepción se realizará comprobando el cumplimiento de las especificaciones de proyecto y sus características aparentes.

Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas: Todas las redes de circulación de fluidos portadores deberían ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su estanqueidad, antes de quedar ocultas por obras de albañilería, material de relleno o por el material aislante. Son aceptables las pruebas realizadas de acuerdo a UNE 100151, en función del tipo de fluido transportado. El procedimiento a seguir para las pruebas de estanqueidad hidráulica, en función del tipo de fluido transportado y con el fin de detectar fallos de continuidad en las tuberías de circulación de fluidos portadores, comprenderá las fases que se relacionan a continuación.

- a. Preparación y limpieza de redes de tubería: Antes de realizar la prueba de estanqueidad y de efectuar el llenado definitivo, las redes de distribución de agua deberían ser limpiadas internamente para eliminar los residuos del montaje. La limpieza podrá efectuarse llenándola y vaciándola el número de veces que sea necesario, con agua o con una solución acuosa de un producto detergente, con dispersantes compatibles con los materiales empleados en el circuito, cuya concentración será establecida por el fabricante. El uso de productos detergentes no está permitido para redes de tuberías destinadas a la distribución de agua para usos sanitarios.
- b. Prueba preliminar de estanqueidad: Esta prueba se efectuará a baja presión, para detectar fallos importantes de continuidad de la red y evitar los daños que podría provocar la prueba de resistencia mecánica; se empleará el mismo fluido transportado o, generalmente, agua a la presión de llenado.

- c. Prueba de resistencia mecánica: Esta prueba se efectuará a continuación de la prueba preliminar. Una vez llenada la red con el fluido de prueba, se someterá a las uniones a un esfuerzo por la aplicación de la presión de prueba. En el caso de circuitos cerrados de agua refrigerada o de agua caliente hasta una temperatura máxima de servicio de 100º C, la presión de prueba será equivalente a 1,5 veces la presión máxima efectiva de trabajo a la temperatura de servicio.
- d. Reparación de fugas: La reparación de las fugas detectadas se realizará desmontando la junta, accesorio o sección donde se haya originado la fuga y sustituyendo la parte defectuosa o averiada con material nuevo. Una vez reparadas las anomalías, se volverá a comenzar desde la prueba preliminar. El proceso se repetirá tantas veces como sea necesario, hasta que la red sea estanca.

Pruebas de dilatación: Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de seguridad, la instalación se llevará hasta la temperatura de tarado de los elementos de seguridad. En el caso de los circuitos primarios de las instalaciones solares se llevarán a la temperatura de estancamiento. Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobará visualmente que no hayan tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

6.3- Pruebas finales.

Las pruebas finales permitirán garantizar que la instalación reúne las condiciones de calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en proyecto. Se considerarán aceptables, las pruebas finales que se realicen siguiendo las instrucciones indicadas en la norma UNE-EN 12599:01. Las pruebas de libre dilatación y las pruebas finales de la instalación solar se realizarán en un día soleado y sin demanda. En la instalación solar se llevará a cabo una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario, a realizar con este lleno y la bomba de circulación parada, cuando el nivel de radiación sobre la apertura del captador sea superior al 80% del valor de irradiancia que defina como máxima el proyectista, durante al menos una hora.

6.4- Ajuste y equilibrado.

La instalación solar debería ser ajustada a los valores de proyecto dentro de los márgenes admisibles de tolerancia. Se realizarán de acuerdo con lo establecido en la norma UNE 100010 (partes 1, 2 y 3) "Climatización. Pruebas de ajuste y equilibrado".

Sistema de distribución de agua: Se comprobará que el fluido anticongelante contenido en los circuitos expuestos a heladas cumple con los requisitos especificados en el proyecto. Cada bomba, de la que se debería conocer la curva característica, debería ser ajustada al caudal de diseño. Los distintos ramales, o los dispositivos de equilibrado de los mismos, serán equilibrados al caudal de diseño.

Control automático: Se ajustarán todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados en el proyecto y se comprobará el funcionamiento de todos los componentes que configuran el sistema de control.

6.5- Pruebas funcionales.

Trabajos previos:

- Verificación de la presión de llenado del lado aire de los vasos de expansión.
- Comprobación del funcionamiento de los sistemas de llenado y vaciado de la instalación.
- Se realizará una prueba hidrostática completa de la instalación. Se hará de manera independiente para cada uno de los circuitos conforme a la presión máxima de trabajo de cada uno. Para realizar esta prueba no podrán estar conectadas las válvulas de seguridad ni los vasos de expansión.
- Se comprobará que las válvulas de seguridad funcionan adecuadamente y que las tuberías de los escapes y descarga de las mismas están en conexión con la atmósfera y no están obstruidas. La prueba se realizará incrementando hasta un valor de 1,1 veces el de tarado y comprobando que se produce la apertura de la válvula.
- Se comprobará la correcta actuación de las válvulas de corte, llenado, vaciado y purga de la instalación realizando las maniobras de apertura y cierre con el esfuerzo adecuado.
- Se comprobará que alimentando eléctricamente las bombas del circuito, entran en funcionamiento y el incremento de presión indicado con los manómetros se corresponde en la curva con el caudal del diseño del circuito.
- Se comprobará el accionamiento de las válvulas de regulación, comprobando que realizan completamente las maniobras de apertura y cierre, y en el sentido adecuado al modificar los puntos de consigna de los lazos de control correspondientes.
- Se comprobará la actuación del sistema de control, arrancando y parando las bombas.

Puesta en marcha y pruebas funcionales:

- Las pruebas funcionales permitirán comprobar que las condiciones y los parámetros de funcionamiento cumplen las especificaciones de proyecto.
- Se podrán emplear los procedimientos y criterios descritos en la norma UNE EN 12977-2 Sistemas solares térmicos y componentes. Instalaciones a medida. Parte 2: Métodos de ensayo.
- Se comprobará el comportamiento global de la instalación realizando una prueba de funcionamiento diario, consistente en verificar, que en un día claro, las bombas arrancan por la mañana, en un tiempo prudencial, y paran al atardecer.

- Se realizará el llenado de circuitos y la purga del aire de la instalación. La operación de llenado y purga debería completarse con el funcionamiento de bombas que permitan arrastrar las bolsas y burbujas de aire de toda la instalación.
- Se pondrán en funcionamiento las bombas de circulación de agua, verificando y anotando los parámetros de funcionamiento: caudales, presión y consumo eléctrico.
- Se verificará que al circular el agua se produce el calentamiento de los circuitos
- Se comprobará que al producirse el calentamiento de los fluidos de los circuitos, el incremento de presión de los circuitos es el adecuado.
- Se verificarán los caudales de agua de cada circuito y se realizará comprobación del equilibrio hidráulico de la instalación, realizando los ajustes necesarios para conseguir los valores definidos en el proyecto.
- Se realizarán medidas de temperatura del fluido en los puntos previstos de la instalación. Se comprobará el funcionamiento automático del sistema de control verificando tanto las funciones de calentamiento como las de protección de temperatura y presiones.
- Se comprobará el arranque automático y sin intervención del usuario del conjunto de la instalación solar después de que se haya superado la situación de estancamiento, verificando expresamente que no se ha perdido líquido de los circuitos y las bombas mueven el caudal de diseño.
- Se medirán los niveles de ruido producidos por bombas y fluidos en movimiento.
- Todas las pruebas, controles y actuaciones realizadas durante las pruebas, ajustes y puesta en marcha deberían quedar adecuadamente registrado en el registro previsto, con los resultados obtenidos, e incorporado al resto de la documentación de la instalación

Comprobaciones finales: Las pruebas funcionales permitirán comprobar que las condiciones y los parámetros de funcionamiento satisfacen los requisitos de proyecto:

- Comprobación del funcionamiento de la instalación en distintos regímenes de funcionamiento dentro del rango.
- Comprobación de la eficiencia energética del sistema de captación.
- Comprobación de los intercambiadores de calor y demás equipos en los que se efectúe una transferencia de energía térmica.
- Comprobación del rendimiento y la aportación energética de la instalación solar.
- Comprobación del funcionamiento de los elementos de regulación y control.
- Comprobación de las temperaturas y los saltos térmicos de todos los circuitos y ramales.
- Comprobación que los consumos energéticos se hallan dentro de los márgenes previstos en el proyecto o memoria técnica.
- Comprobación del funcionamiento y del consumo de los motores eléctricos en las condiciones reales de trabajo.

6.6- Recepción.

El objeto de la recepción es comprobar que la instalación está de acuerdo con los servicios contratados y que se ajusta, por separado cada uno de sus elementos y globalmente, a lo especificado en el proyecto.

Recepción provisional: Una vez realizadas las pruebas funcionales con resultados satisfactorios, se procederá al acto de recepción provisional de la instalación por parte de la propiedad, con lo que se da por finalizado el montaje de la instalación. El acto de recepción provisional quedará formalizado por un acta donde figuren todos los intervinientes y en la que se formalice mediante la documentación pertinente. Desde al acta de recepción provisional, la propiedad o terceros podrán reclamar la subsanación de cuantas anomalías o defectos se detecten en el funcionamiento de la instalación. Cualquier incidencia en el funcionamiento debe ser notificada formalmente. Si durante el periodo deben realizarse pruebas adicionales para la verificación del correcto funcionamiento de la instalación, se añadirán los resultados a las hojas recopilativas entregadas.

Recepción definitiva: Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la recepción provisional se transformará en recepción definitiva. A partir de la recepción definitiva entrará en vigor la garantía.

7. MANTENIMIENTO.

El objeto de este apartado es definir las condiciones generales mínimas que deben seguirse para el adecuado mantenimiento de las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente.

7.1- Generalidades.

El Manual de Instrucciones (MI) o manual de mantenimiento y uso recogerá todas aquellas descripciones, instrucciones y recomendaciones necesarias para asegurar el correcto uso y funcionamiento de la instalación y que, a lo largo de su vida útil, se realice con la máxima eficiencia energética, garantizando la seguridad, la durabilidad y la protección del medio ambiente, así como las exigencias establecidas en el proyecto. El MI será entregado al titular y formará parte del suministro de la instalación.

Se realizará un contrato de mantenimiento por un período de tiempo al menos igual que el de la garantía.

Se definen tres escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma:

- Vigilancia.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

Para leer las tablas que se presentan a continuación, de las operaciones que se deben llevar a cabo en cada uno de los escalones, hará falta entender la siguiente notación:

- IV: Inspección visual.
- CF: Control de funcionamiento.

7.2- Plan de vigilancia.

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Será llevado a cabo, normalmente, por el usuario, que asesorado por el instalador, observará el correcto comportamiento y estado de los elementos, y tendrá un alcance similar al descrito en la tabla 25.

<i>Elemento de la instalación</i>	<i>Operación</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Captadores	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados.
	Cristales	3	IV - Condensaciones en las horas centrales del día.
	Juntas	3	IV - Agrietamientos y deformaciones.
	Absorbedor	3	IV - Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV - Fugas.
	Estructura	3	IV - Degradación, indicios de corrosión.
Circuito primario	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV - Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín.
Circuito secundario	Termómetro	Diaria	IV - Temperatura.
	Tubería y aislamiento	6	IV - Ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte superior del depósito.

Tabla 25: Operaciones en el plan de vigilancia.

7.3- Plan de mantenimiento preventivo.

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma.

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para aquellas instalaciones con una superficie de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m².

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

En las tablas 26-A, 26-B, 26-C, 26-D, 26-E y 26-F se definen las operaciones de mantenimiento preventivo que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y descripciones en relación con las prevenciones a observar.

Sistema de captación:

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Captadores	6	IV- Diferencias sobre original.
		IV- Diferencias entre captadores.
Cristales	6	IV- Condensaciones y suciedad.
Juntas	6	IV- Agrietamientos, deformaciones.
Absorbedor	6	IV- Corrosión, deformaciones.
Carcasa	6	IV- Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración.
Conexiones	6	IV- Aparición de fugas.
Estructura	6	IV- Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos.
Captadores (*)	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores (*)	12	Llenado parcial del campo de captadores

Tabla 26-A: Operaciones preventivas en el sistema de captación.

(*): Esta operación se realizará solo si hiciera falta, para proteger contra sobrecalentamientos, en caso de optar por el tapado parcial o por el vaciado parcial de captadores.

Sistema de acumulación:

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo.
Ánodos de sacrificio	12	Comprobación del desgaste.
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento.
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad.

Tabla 26-B: Operaciones preventivas en el sistema de acumulación.

Sistema de intercambio:

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Intercambiador de placas	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.
Intercambiador de serpentín	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.

Tabla 26-C: Operaciones preventivas en el sistema de intercambio.

Circuito hidráulico:

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH.
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión.
Aislamiento al exterior	6	IV - Degradación protección uniones y ausencia de humedad.
Aislamiento al interior	12	IV - Uniones y ausencia de humedad.
Purgador automático	12	CF y limpieza.
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín.
Bomba	12	Estanqueidad.
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión.
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel.
Sistema de llenado	6	CF - Actuación.
Válvula de corte	12	CF - Actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento.
Válvula de seguridad	12	CF - Actuación.

Tabla 26-D: Operaciones preventivas en el circuito hidráulico.

Sistema eléctrico y de control:

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está bien cerrado para que no entre polvo.
Control diferencial	12	CF - Actuación.
Termostato	12	CF - Actuación.
Verificación del sistema de medida	12	CF - Actuación.

Tabla 26-E: Operaciones preventivas en el sistema eléctrico y de control.

Sistema de energía auxiliar:

<i>Equipo</i>	<i>Frecuencia (meses)</i>	<i>Descripción</i>
Sistema auxiliar	12	CF- Actuación.
Sondas de temperatura	12	CF- Actuación.

Tabla 26-F: Operaciones preventivas en el sistema auxiliar.

Dado que el sistema de energía auxiliar no forma parte del sistema de energía solar propiamente dicho, sólo será necesario realizar actuaciones sobre las conexiones del primero a este último, así como la verificación del funcionamiento combinado de ambos sistemas. Se deja un mantenimiento más exhaustivo para la empresa instaladora del sistema auxiliar.

7.4- Mantenimiento correctivo.

Son operaciones realizadas como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

Incluye la visita a la instalación, en los plazos máximos indicados en la Garantía, cada vez que el usuario así lo requiera por avería grave de la instalación, así como el análisis y elaboración del presupuesto de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la misma.

Los costes económicos del mantenimiento correctivo, con el alcance indicado, forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Podrán no estar incluidas ni la mano de obra, ni las reposiciones de equipos necesarias.

8. GARANTÍA.

El suministrador garantizará la instalación durante un período mínimo de 3 años, para todos los materiales utilizados y el procedimiento empleado en su montaje.

Sin perjuicio de cualquier posible reclamación a terceros, la instalación será reparada de acuerdo con estas condiciones generales si ha sufrido una avería a causa de un defecto de montaje o de cualquiera de los componentes, siempre que haya sido manipulada correctamente de acuerdo con lo establecido en el manual de instrucciones.

La garantía comprende la reparación o reposición, en su caso, de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, así como la mano de obra empleada en la reparación o reposición durante el plazo de vigencia de la garantía.

Si en un plazo razonable, el suministrador incumple las obligaciones derivadas de la garantía, el comprador de la instalación podrá, previa notificación escrita, fijar una fecha final para que dicho suministrador cumpla con las mismas. Si el suministrador no cumple con sus obligaciones en dicho plazo último, el comprador de la instalación podrá, por cuenta y riesgo del suministrador, realizar por sí mismo o contratar a un tercero para realizar las oportunas reparaciones, sin perjuicio de la ejecución del aval prestado y de la reclamación por daños y perjuicios en que hubiere incurrido el suministrador.

El suministrador atenderá el aviso en un plazo de:

- 24 horas, si se interrumpe el suministro de agua caliente, procurando establecer un servicio mínimo hasta el correcto funcionamiento de ambos sistemas (solar y de apoyo).
- 48 horas, si la instalación solar no funciona.
- 1 semana, si el fallo no afecta al funcionamiento.

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1. SISTEMA DE CAPTACIÓN.

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

Captador solar Viessmann.

Características:

Modelo Vitosol 200-FM SV2F

Superficie bruta: 2,51 m²

Anchura: 1056 mm

Altura: 2380 mm

Profundidad: 90 mm

Rendimiento óptico: 81,3 %

Coefficiente pérdida K1: 3,675 W/(m²·K)

Coefficiente pérdida K2: 0,037 W/(m²·K)

Peso: 41 Kg

Presión máxima admisible: 6 bar

Temperatura máxima admisible: 145 °C

729 € 72 52.488 €

Estructura soporte para 6 captadores.

Características:

Ángulo de inclinación variable

Resistencia a cargas de nieve hasta 2,55 kN/m²

Resistencia velocidades de viento hasta 150 Km/h

1050 € 12 12.600 €

Total sistema de captación..... 65.088 €

2. SISTEMA DE ACUMULACIÓN.

Concepto	Precio	Unidades	Importe
Interacumulador Lapesa			
Características:			
Modelo MASTER INOX MXV-5000 SS2B			
Capacidad: 5.000 litros			
Diámetro exterior: 1910 mm			
Altura: 2710 mm			
Doble serpentín			
Superficie de intercambio: 15 m ²			
Paso en vacío: 790 Kg			
P _{MAX} depósito ACS: 8 bar			
T _{MAX} depósito ACS: 90 °C			
P _{MAX} circuito primario: 25 bar			
T _{MAX} circuito primario: 120 °C			
Pérdidas estáticas: 266 W			
	15.800 €	2	31.600 €

Total sistema de acumulación..... 31.600 €

3. SISTEMA HIDRÁULICO.

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

Bomba de circulación Wilo

Características:

Modelo: Veroline 32/105 – 0,75/2

Diámetro de conexión: 32 mm

Diámetro nominal del rodete: 105 mm

Potencia nominal del motor: 0,75 KW

Número de polos: 2

Rango de temperaturas: -20 °C a 120 °C

Presión máxima de trabajo: 10 bar

Alimentación eléctrica: 3~400 V, 50 Hz

Factor de potencia: 0,74

Tipo de protección: IP 55

Peso aproximado: 21 Kg

1.196 €	2	2.392 €
---------	---	---------

Vaso de expansión

Características:

Capacidad: 80 litros

Peso: 16 Kg

Presión máxima: 6 bar

Precarga: 1,5 bar

Rango de temperaturas: -10 °C a 100 °C

134,4 €	1	134,4 €
---------	---	---------

Tubo cobre rígido

(Norma EN 12735-1-2001)

Características:

Venta en barras de 5 m

(Salvador Escoda S.A)

Diámetro exterior: 54 mm

Diámetro interior: 51 mm

Espesor tubería: 1,25 mm

28,75 €/m	60 m	1725 €
-----------	------	--------

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

**Tubo cobre rígido
(Norma EN 12735-1-2001)**

Características:

Venta en barras de 5 m

(Salvador Escoda S.A)

Diámetro exterior: 42 mm

Diámetro interior: 40 mm

Espesor tubería: 1,25 mm

21,67 €/m 115 m 2.492,05 €

**Tubo cobre rígido
(Norma EN 12735-1-2001)**

Características:

Venta en barras de 5 m

(Salvador Escoda S.A)

Diámetro exterior: 35 mm

Diámetro interior: 33 mm

Espesor tubería: 1,25 mm

18,44 €/m 35 m 645,4 €

**Tubo cobre rígido
(Norma EN 12735-1-2001)**

Características:

Venta en barras de 5 m

(Salvador Escoda S.A)

Diámetro exterior: 28 mm

Diámetro interior: 26 mm

Espesor tubería: 1 mm

11,98 €/m 70 m 838,6 €

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

Codo cobre 90º

Características:

Proveedor: Salvador Escoda S.A

Codo H-H = 54-54

Para tubo de D_{EXT} = 54 mm

31,67 € 4 126,68 €

Codo cobre 90º

Características:

Proveedor: Salvador Escoda S.A

Codo H-H = 42-42

Para tubo de D_{EXT} = 42 mm

16,66 € 10 166,6 €

Codo cobre 90º

Características:

Proveedor: Salvador Escoda S.A

Codo H-H = 28-28

Para tubo de D_{EXT} = 28 mm

2,28 € 28 63,84 €

TE cobre 90º

Características:

Proveedor: Salvador Escoda S.A

TE H-H-H = 54-54-54

48,64 € 2 97,28 €

Manguito reducción cobre

Características:

Proveedor: Salvador Escoda S.A

Manguito M-H = 54-42

25,32 € 4 101,28 €

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

TE reducida cobre 90º

Características:

Proveedor: Salvador escoda S.A

TE H-H-H = 42-35-35

66,64 € 4 266,56 €

Manguito reducción cobre

Características:

Proveedor: Salvador Escoda S.A

Manguito M-H = 35-28

12,04 € 4 48,16 €

TE reducida cobre 90º

Características:

Proveedor: Salvador Escoda S.A

TE H-H-H = 35-28-28

24,28 € 4 97,12 €

Válvula de corte

Características:

Válvula de esfera.

Proveedor/Fabricante GENE BRE.

PN 25. Paso total

Construcción en latón UNE-EN 12165

Extremos roscados H-H – ISO 228/1

Para tubería de 54 mm

Temperatura máxima 150 ºC.

31,74 € 19 603,06 €

Válvula de corte

Características:

Válvula de esfera.

Proveedor/Fabricante GENE BRE.

PN 25. Paso total

Construcción en latón UNE-EN 12165

Extremos roscados H-H – ISO 228/1

Para tubería de 28 mm

Temperatura máxima 150 ºC.

8,93 € 26 232,18 €

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

Válvula de retención.

Características:

Proveedor/Fabricante GENE BRE.

Modelo REGE PLUS.

DN: 2" (Para tubería de 54 mm).

PN 25/18.

Construcción en latón cromado según UNE-EN 12165.

Cierre NBR vulcanizado.

Muelle acero inoxidable.

Extremos roscados según ISO 228/1.

Temperatura máxima 90 °C.

36,73 € 3 110,19 €

Válvula de seguridad.

Características:

Proveedor/Fabricante GENE BRE.

PN 16.

Construcción en latón UNE-EN 12165.

Muelle de acero galvanizado.

Regulación de 0,5 a 16 bar.

Extremos en escuadra rosca H-H ISO 228/1.

Temperatura: -10 °C + 180 °C

127,48 € 1 127,48 €

Válvula de seguridad.

Características:

Proveedor/Fabricante GENE BRE.

Cuerpo de latón.

Extremos rosca hembra ISO 228/1.

Temperatura máxima 160 °C.

Taraje 6 bar.

12,99 € 1 12,99 €

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

Purgador automático de aire.

Características:

Proveedor/Fabricante GENE BRE.

Cuerpo en latón.

Sistema de flotador en PP.

Junta de cierre en elastómero.

Extremo rosca macho ISO 228/1.

Temperatura máxima 110 °C.

Presión máxima de trabajo 10 bar.

12,12 € 12 145,44 €

Filtro.

Características:

Proveedor/Fabricante GENE BRE.

Construcción en latón UNE-EN 12165.

Extremos rosca gas H-H - ISO 228/1.

Tamiz: Acero inoxidable.

Luz: 800 micras.

Junta tórica NBR.

Temperatura máxima 120 °C

55,08 € 1 55,08 €

Racores y accesorios de acoplamiento.

Características:

Se añadirá un gasto en el presente presupuesto debido a los racores y accesorios necesarios para el acoplamiento de las diferentes válvulas y componentes.

--- --- 400 €

Propilenglicol para preparado de Líquido anticongelante.

Características:

Preparado a base de propilenglicol e

Inhibidores de corrosión para protección de los metales del circuito.

Garrafa de 30 litros.

190,3 € 5 951,5 €

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

Aislante térmico.

Características:

Coquillas marca Armacell.

Modelo Armaflex XG.

Material: Espuma elastomérica.

Para diámetro exterior de tubería: 54 mm.

Espesor de aislante: 40 mm

23,19 €/m 5 m 115,95 €

Aislante térmico.

Características:

Coquillas marca Armacell.

Modelo Armaflex XG.

Material: Espuma elastomérica.

Para diámetro exterior de tubería: 42 mm.

Espesor de aislante: 40 mm

19,20 €/m 115 m 2208 €

Aislante térmico.

Características:

Coquillas marca Armacell.

Modelo Armaflex XG.

Material: Espuma elastomérica.

Para diámetro exterior de tubería: 35 mm.

Espesor de aislante: 40 mm

18,26 €/m 35 m 639,1 €

Aislante térmico.

Características:

Coquillas marca Armacell.

Modelo Armaflex XG.

Material: Espuma elastomérica.

Para diámetro exterior de tubería: 28 mm.

Espesor de aislante: 40 mm

16,32 €/m 70 m 1142,4 €

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

Aislante térmico.

Características:

Coquillas marca Armacell.

Modelo Armaflex XG.

Material: Espuma elastomérica.

Para diámetro exterior de tubería: 54 mm.

Espesor de aislante: 30 mm

11,85 €/m	60 m	711 €

Pintura protectora Armafinish para aislante en tuberías de exterior.

Características:

Color: Blanco

Recipiente de 1 Kg.

Tiempo de secado 2 horas a 20 °C.

36,10 €	2	72,20 €

Total sistema hidráulico..... 16.721,54 €

4. SISTEMA DE CONTROL Y REGULACIÓN.

Concepto	Precio	Unidades	Importe
<p>Centralita reguladora diferencial. Características: Marca Sorel, modelo LTDC. Funciones con 42 sistemas diferentes. 6 entradas para sensores Pt1000. 3 salidas de relé. Protección IP40.</p>	152,89 €	2	305,78 €
<p>Sonda de temperatura Pt1000. Características: Sensor de temperatura con cable de silicona. Afinado según DNI EN60751 (IEC751). Temperatura máxima 180 °C.</p>	4,95 €/m	60 m	297 €
<p>Vaina sumergible para sonda. Características: Vaina de ½" sumergible. Material: Cobre. Longitud: 100 mm.</p>	4,10 €	3	12,3 €
<p>Termómetro. Características: Termómetro de esfera de 80 mm. Medida de temperatura: 0 °C – 120 °C. Vaina de 50 o 100 mm.</p>	18,20 €	3	54,60 €
<p>Manómetro. Características: Manómetro de esfera de 63 mm con glicerina. Caja de acero inoxidable ASI 304. Rosca ¼" macho gas. Presión: 0 bar – 25 bar.</p>	24,80 €	2	49,60 €
Total Sistema de control y regulación.....			719,28 €

5. MONTAJE, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA.

Concepto	Precio	Unidades	Importe
----------	--------	----------	---------

Mano de obra.

Operaciones:

Montaje de la instalación.

Pruebas y comprobación de correcto funcionamiento de todos los subsistemas.

Pruebas y comprobación de correcto funcionamiento del sistema global.

Completar instalación: Llenado de fluido anticongelante y colocación de aislante.

Puesta en marcha y comprobación final de su correcto funcionamiento.

--- --- 6.200 €

Total Mano de obra 6.200 €

6. RESULTADOS Y CÓMPUTO FINAL.

Presupuesto total:

Sistema de captación	65.088,00 €
Sistema de acumulación	31.600,00 €
Sistema hidráulico	16.721,54 €
Sistema de control y regulación	719,28 €
Mano de obra	6.200,00 €
Total	120.328,82 €

Tabla 27: Presupuesto total.

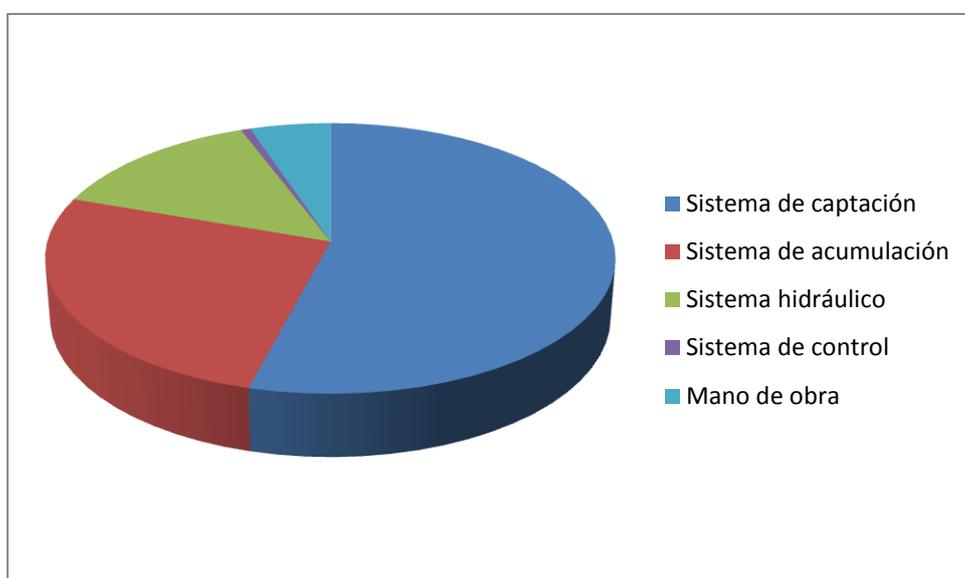


Figura 37: Peso de cada subsistema en el presupuesto.

Total Instalación solar térmica: 120.328,82 €

IVA (21 %): 25.269,05 €

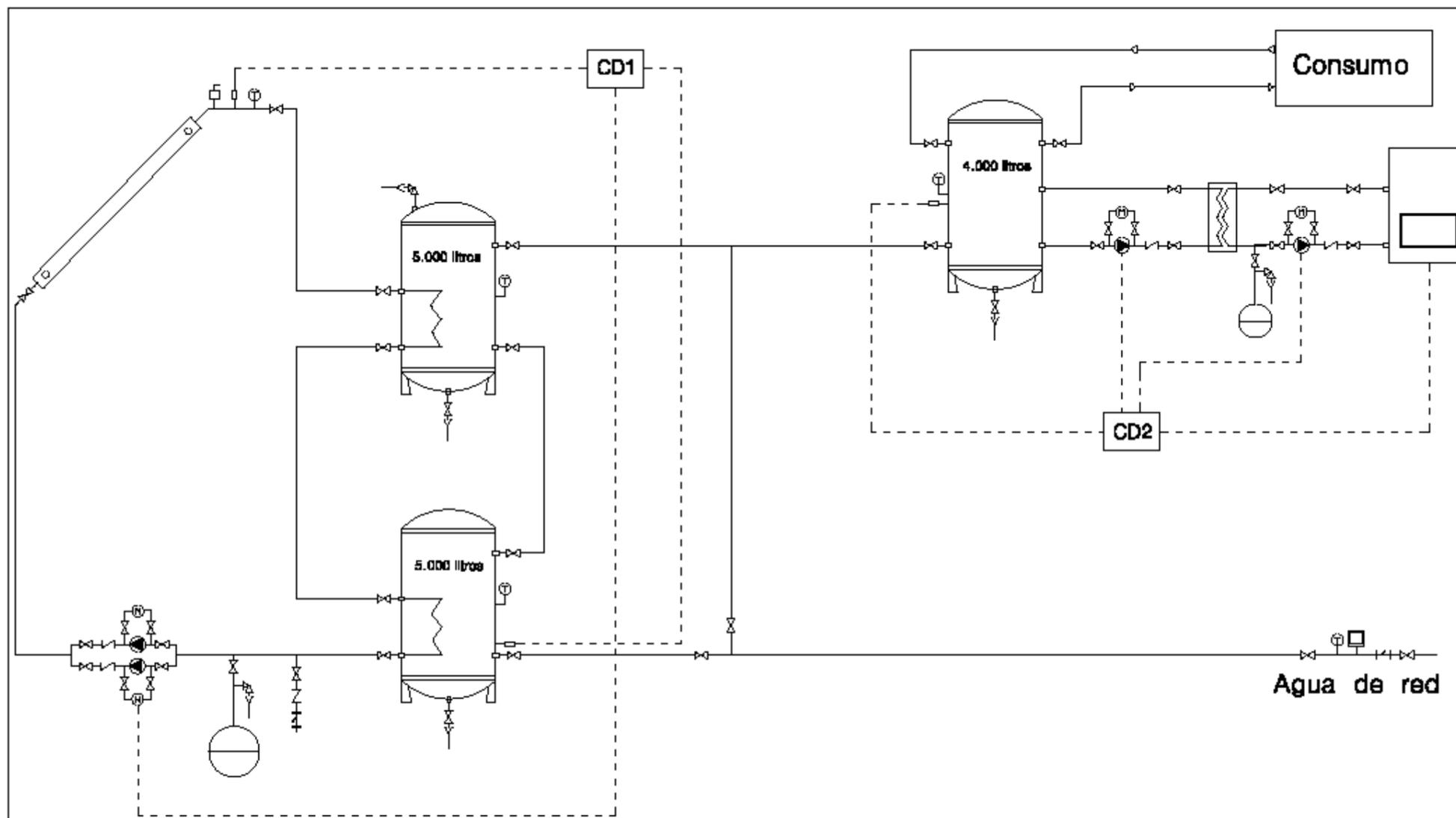
Por tanto, los resultados finales del presupuesto son:

Presupuesto final	145.597,87 €
Ratio (€ total instalación/m² superficie de captación)	805,65 €/m

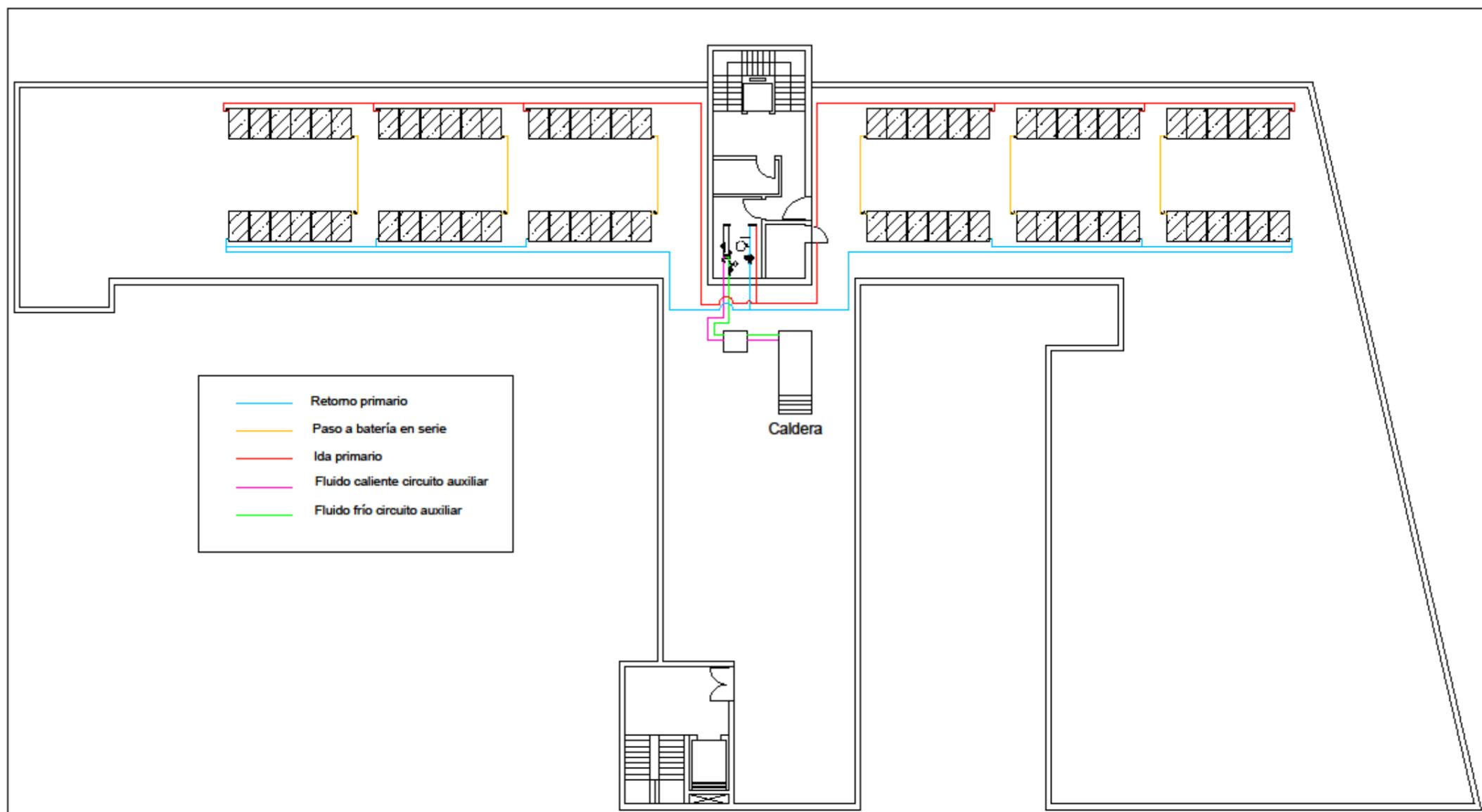
PLANOS



Nº:1	Universidad de Sevilla
Escuela Técnica Superior de Ingeniería	
Trabajo Fin de Grado	Año: 2017
Plano de ubicación	



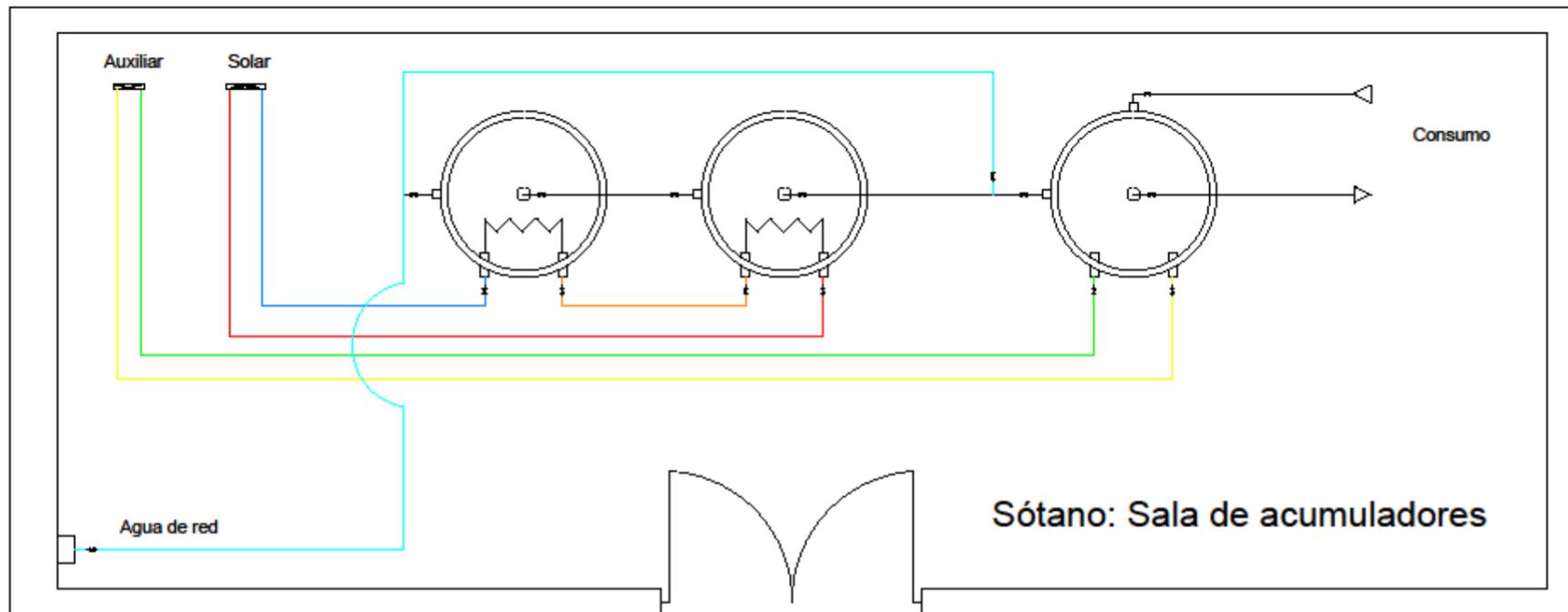
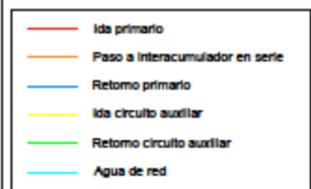
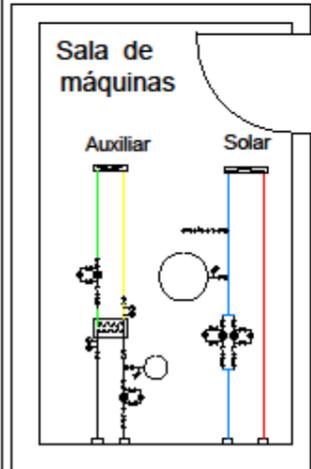
	Válvula de corte		Bomba de circulación	Nº:2	Universidad de Sevilla	
	Válvula de retención		Vía de desague			
	Válvula de seguridad		Vaina para sonda	Escuela Técnica Superior de Ingeniería		
	Filtro		Termómetro	Trabajo Fin de Grado		Año: 2017
	Purgador		Manómetro	Esquema de principio de la instalación		



- Retorno primario
- Paso a batería en serie
- Ida primario
- Fluido caliente circuito auxiliar
- Fluido frío circuito auxiliar

Caldera

Nº:3	Universidad de Sevilla
Escuela Técnica Superior de Ingeniería	
Trabajo Fin de Grado	Año: 2017
Cubierta del edificio	



Nº:4	Universidad de Sevilla
Escuela Técnica Superior de Ingeniería	
Trabajo Fin de Grado	Año: 2017
Sala de máquinas y sala de acumuladores	