Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

ESTUDIO Y DISEÑO

INSTALACIÓN SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE (ACS) EN BLOQUE DE VIVIENDAS

Autor: Juan José Jiménez-Orta Rivero

Tutor: José Julio Guerra Macho

Dpto. Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingenierías de las Tecnologías Industriales

Instalación solar para producción de ACS en un bloque de viviendas

Autor:

Juan José Jiménez-Orta Rivero

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Dep. de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Índice

1. Memoria descriptiva…… 1

1.1 Objeto del proyecto…… 2

1.2 Instalación de energía solar…… 2

1.3 Método de cálculo…… 10

1.4 Descripción del edificio…… 19

1.5 Descripción de la instalación…… 20

1.6 Características instalación solar…..... 24

1.7 Normativa…… 29

1.8 Bibliografía…….. 30

2. Memoria de cálculo…… 33

2.1 Introducción…… 34

2.2 Datos de partida…… 34

2.3 Cálculo de la demanda…… 39

2.4 Dimensionado básico…… 40

2.5 Disposición de captadores…… 44

2.6 Dimensionado intercambiador de calor…… 46

2.7 Dimensionado tuberías…… 48

2.8 Dimensionado bomba de circulación…… 60

2.9 Dimensionado vaso de expansión…….. 61

2.10 Dimensionado aerotermo…… 64

2.11 Cálculo espesores de aislamiento…… 64

2.12 Sistema de regulación y control…… 65

2.13 Selección de accesorios…… 66

3. Pliego de condiciones…… 69

3.1 Objeto…… 70

3.2 Normativa aplicable…… 70

3.3 Condiciones de materiales y equipos…….. 71

3.4 Provisión del material…… 83

3.5 Condiciones del material…… 84

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción…….. 84

3.7 Mantenimiento…… 87

4. Mediciones y presupuesto…… 92

4.1 Sistema de captación…….... 93

4.2 Sistema de acumulación…….. 93

4.3 Sistema de intercambiador…….. 94

4.4 Sistema hidráulico……... 94

4.5 Sistema de control…… 96

5. Planos…… 99

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 Objeto del Proyecto

Este proyecto tiene como objetivo principal el diseño y dimensionamiento de un sistema de captación solar de baja temperatura para la generación de agua caliente sanitaria (ACS) en un bloque de viviendas en la ciudad de Sevilla. Para lograr este objetivo, se llevará a cabo un minucioso análisis de las condiciones climáticas y de la radiación solar específica de la zona de Sevilla, con el propósito de determinar la ubicación óptima del edificio y calcularel consumo diario de ACS. Siguiendo las directrices establecidas en los códigos técnicos correspondientes, se establecerá el porcentaje mínimo requerido de contribución solar para satisfacer la totalidad del consumo de ACS necesario para el bloque de viviendas en cuestión.

1.2 Instalaciones de energía solar

Las instalaciones de energía solar térmica de baja temperatura son sistemas diseñados para captar la energía radiante del sol y convertirla en calor utilizable, generalmente para aplicaciones de calefacción y agua caliente sanitaria. A diferencia de la energía solar fotovoltaica, que convierte la radiación solar directamente en electricidad, la energía solar térmica se centra en el aprovechamiento del calor.

Funcionamiento de las instalaciones de energía solar térmica de baja temperatura:

- Captación solar: Los captadores solares son los dispositivos utilizados para captar la radiación solar. Estos captadores están compuestos por una superficie de absorción, un material oscuro que absorbe la radiación solar, y un fluido (generalmente una mezcla de agua y anticongelante) que circula a través de dicha superficie. A medida que la radiación solar incide sobre el captador, se produce un calentamiento del fluido.

- Transferencia de calor: El calor absorbido por el fluido se transfiere a través de intercambiadores de calor hacia un circuito secundario, donde se utiliza para calentar agua o fluidos de calefacción. Los intercambiadores de calor pueden ser de tipo serpentina o de placas, y su función es transferir eficientemente el calor del fluido solar al agua o al sistema de calefacción.

El funcionamiento en los captadores solares planos se basa en los principios del cuerpo negro, la superficie selectiva y el efecto invernadero, principalmente. A continuación, se explica estos fundamentos por los que se rige este tipo de captador:

- Cuerpo negro: El cuerpo negro es un concepto teórico que describe un objeto que absorbe y emite toda la radiación incidente sobre él, sin reflejar ni transmitir energía significativa. En el caso de un captador solar plano, se busca que la superficie de absorción actúe como un cuerpo negro, es decir, que absorba eficientemente la radiación solar incidente.

Para lograr esto, se utilizan materiales y revestimientos selectivos en la superficie de absorción. Estos materiales tienen propiedades ópticas diseñadas para maximizar la absorción de la radiación solar y minimizar la reflexión y la transmisión. De esta manera, el captador solar puede capturar una gran cantidad de energía solar incidente y convertirla en calor.

- Superficie selectiva: La superficie selectiva se refiere a las propiedades de los materiales utilizados en la superficie de absorción del captador solar plano. Estos materiales tienen la capacidad de absorber selectivamente la radiación solar en un rango específico de longitudes de onda, correspondiente al espectro solar, mientras reducen la emisión de calor en otro rango de longitudes de onda.

La superficie selectiva del captador solar plano maximiza la absorción de la radiación solar mediante la elección de materiales con altos coeficientes de absorción en las longitudes de onda solares relevantes. Al mismo tiempo, minimiza la emisión de calor en forma de radiación infrarroja mediante el uso de materiales con baja emisividad en esas longitudes de onda. Esto permite retener eficientemente el calor captado en el sistema y reducir las pérdidas energéticas.

- Efecto invernadero: El efecto invernadero se aplica en el captador solar plano mediante el uso de una cubierta transparente, generalmente de vidrio o plástico, colocada encima de la superficie de absorción. Esta cubierta permite el paso de la radiación solar hacia el interior del captador, pero reduce la transferencia de calor desde el captador hacia el entorno externo.

La cubierta transparente crea una barrera que atrapa el calor generado por la radiación solar absorbida en el interior del captador. Este efecto es similar al que ocurre en un invernadero, donde la radiación solar puede ingresar y calentar el interior, pero el calor resultante tiene dificultades para escapar. Como resultado, el calor captado se retiene dentro del captador solar plano, mejorando la eficiencia del sistema y reduciendo las pérdidas energéticas.

1.2.1 Elementos principales de la instalación

Las distintas partes de una instalación de energía solar térmica se pueden clasificar en una serie de sistemas con funciones específicas.

Se utilizan denominaciones para los sistemas y circuitos que componen una instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria (ACS). En general, estas instalaciones pueden estar compuestas por 7 sistemas fundamentales y 2 sistemas de interconexión. Los sistemas fundamentales son: Sistema de captación, dos sistemas de intercambio, dos sistemas de almacenamiento, sistema de respaldo y sistema de consumo. Los sistemas de interconexión son el sistema hidráulico y el sistema de control.

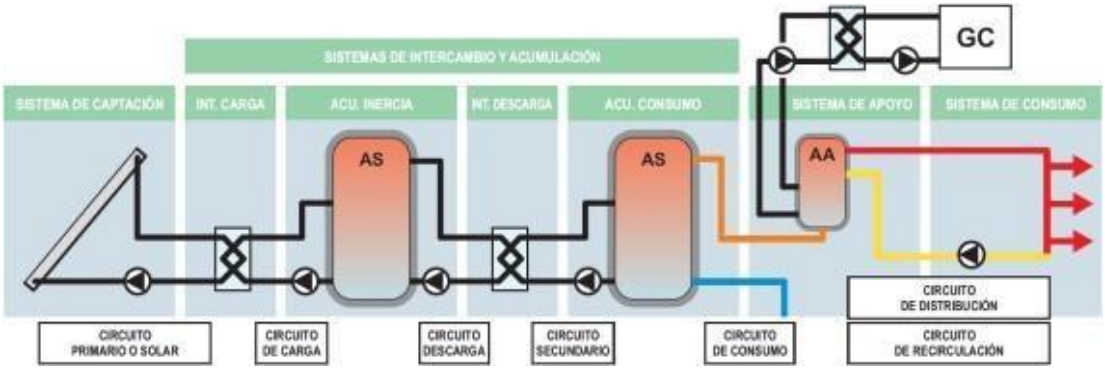


Figura 1.Esquema general

1.2.1.2 Subsistema de captación

El subsistema de captación en una instalación de captación solar para producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) generalmente utiliza captadores solares planos. Un captador solar plano, utilizado en muchas instalaciones solares térmicas, está compuesto por varias partes esenciales que trabajan juntas para captar y transferir la energía solar de manera eficiente. A continuación, se desarrollan cada una de estas partes de manera detallada:

- Placa absorbente: La placa absorbente es el componente clave de un captador solar plano. Está diseñada para captar la radiación solar y convertirla en calor utilizable. La placa absorbente generalmente está fabricada con un material metálico altamente conductivo térmicamente, como cobre o aluminio. Esta placa tiene una superficie recubierta con una capa selectiva que maximiza la absorción de la radiación solar y minimiza la pérdida de calor por radiación infrarroja.

- Cubierta transparente: La cubierta transparente se coloca sobre la placa absorbente para protegerla y permitir el paso de la radiación solar hacia la superficie absorbente. Se utiliza vidrio templado o plástico transparente, como el policarbonato, que es resistente y duradero. La cubierta transparente tiene la función de dejar pasar la radiación solar mientras minimiza las pérdidas de calor. Además, también proporciona un aislamiento adicional para reducir las pérdidas térmicas por convección y radiación desde la placa absorbente.

- Aislante: El aislante térmico se encuentra en la parte posterior de la placa absorbente y tiene como objetivo minimizar las pérdidas de calor hacia atrás. Está compuesto por materiales con baja conductividad térmica, como fibra de vidrio, lana mineral o espuma de poliuretano. El aislante reduce la transferencia de calor desde la placa absorbente hacia el entorno circundante, ayudando a mantener el calor dentro del sistema.

- Carcasa: La carcasa es la estructura que rodea y protege las partes internas del captador solar plano. Está fabricada con materiales resistentes y duraderos, como aluminio o acero inoxidable, que son adecuados para soportar las condiciones

climáticas y ambientales. La carcasa también proporciona rigidez estructural al captador y ayuda a mantener las partes internas en su lugar.

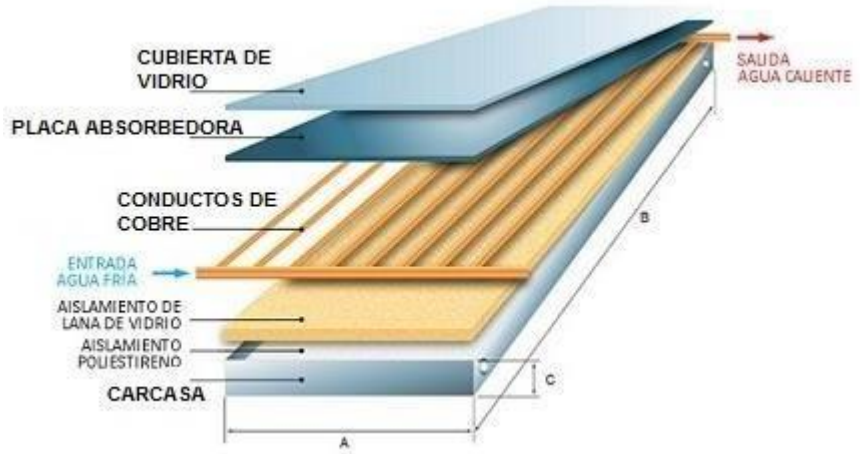


Figura 2. Partes Captador

En cuanto al funcionamiento, cuando la radiación solar incide sobre la cubierta transparente, atraviesa este material y llega a la placa absorbente. La capa selectiva de la placa absorbente absorbe la radiación solar y la convierte en calor. Este calor se transfiere al fluido de transferencia de calor que circula a través de los tubos de flujo en contacto con la placa absorbente. El fluido se calienta y se transporta hacia el subsistema de almacenamiento térmico o hacia el sistema de uso directo, como el sistema de agua caliente sanitaria.

En el sistema de captación solar, pueden ocurrir pérdidas energéticas por diferentes mecanismos:

- Pérdidas por radiación: Algunas de las pérdidas energéticas se producen por radiación desde la superficie del captador solar hacia el entorno circundante. Para minimizar estas pérdidas, se utilizan recubrimientos y materiales con baja emisividad en la parte posterior del captador y se incorpora aislamiento térmico en los laterales y la parte posterior del captador.

- Pérdidas por convección: Otra fuente de pérdida energética es la convección térmica, donde el calor se transfiere al aire del entorno a través de corrientes convectivas. Para minimizar estas pérdidas, se emplean cubiertas transparentes selladas y se incorpora aislamiento térmico en los laterales y la parte posterior del captador para reducir el contacto con el aire externo.

En una instalación de captación solar, los captadores solares se pueden conectar en serie o en paralelo, dependiendo de los requisitos del sistema y las condiciones de funcionamiento:

- Conexión en serie: En la conexión en serie, los captadores se conectan uno tras otro, de manera que el fluido de transferencia de calor pasa sucesivamente por cada uno de ellos. Esta configuración permite aumentar la temperatura del fluido a medida que atraviesa los captadores

en serie, lo que puede ser beneficioso en aplicacionesque requieren temperaturas más altas.

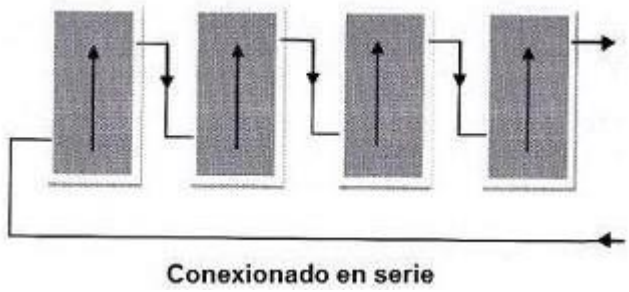


Figura 3. Conexión Serie

- Conexión en paralelo: En la conexión en paralelo, los captadores se conectan de forma paralela, de manera que el fluido de transferencia de calor se divide y circulaa través de todos ellos simultáneamente. Esta configuración aumenta el caudal de fluido y, por lo tanto, la cantidad total de energía captada. Es especialmente útil en sistemas donde se requiere una mayor cantidad de calor, como en instalaciones de gran escala o en aplicaciones de calefacción.

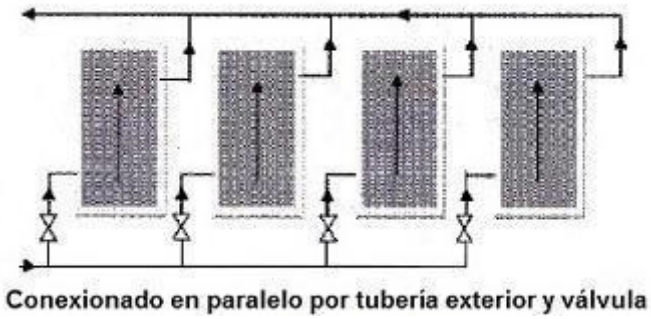


Figura 4. Conexión Paralelo

La orientación e inclinación de los captadores solares planos tienen un impacto significativoen su rendimiento y eficiencia:

- Orientación: La orientación adecuada de los captadores solares planos es hacia el sur (en el hemisferio norte) y hacia el norte (en el hemisferio sur). Esto permite una exposición óptima a la radiación solar durante el día. Si los captadores se orientan hacia el este o el oeste, se reducirá la cantidad de radiación solar captada.

- Inclinación: La inclinación de los captadores solares planos debe ser ajustada según la latitud del lugar de instalación para maximizar la exposición a la radiación solar incidente. En general, se recomienda una inclinación igual a la latitud local para captar la mayor cantidad de radiación solar a lo largo del año. En latitudes más altas, puede ser beneficioso aumentar la inclinación para compensar la menor disponibilidad solar.

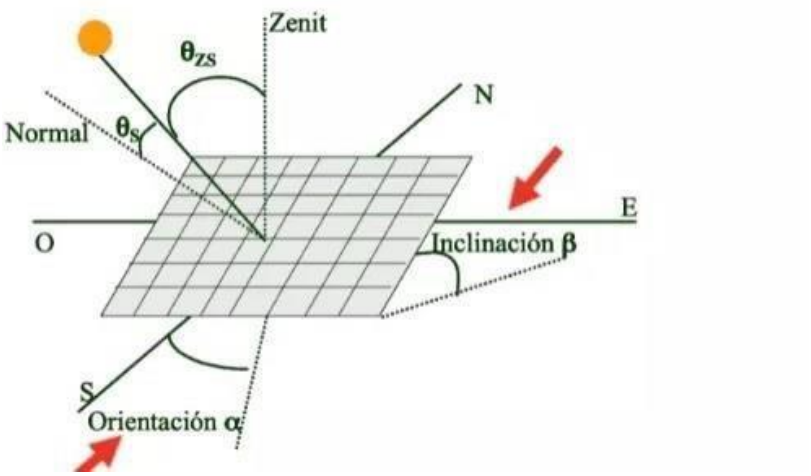


Figura 5. Orientación e Inclinación

1.2.1.3 Subsistema de acumulación

La energía térmica captada por los captadores solares se almacena en forma de agua caliente en depósitos de acumulación, los cuales desempeñan un papel crucial en el sistema. Para calentar el agua acumulada, se utilizan intercambiadores de calor, que pueden estar ubicados tanto en el exterior del depósito como incorporados en su interior.

Existen dos tipos de depósitos de acumulación utilizados para el suministro de agua caliente sanitaria (ACS):

- Depósito acumulador de ACS: En este caso, el calentamiento del agua acumulada tiene lugar fuera del depósito, mediante la recirculación del agua a través de un intercambiador de calor externo.

- Depósito con intercambiador incorporado o interacumulador de ACS: Este tipo de depósito permite calentar y acumular el agua en el mismo recipiente, el cual cuenta con su propio intercambiador de calor.

Los depósitos de almacenamiento se recomiendan que sean verticales y presenten una relación elevada entre la altura y el diámetro. Es importante realizar las conexiones de las tuberías al acumulador de manera que promuevan la estratificación (proceso mediante elcual los fluidos, como el agua, se separan en capas con diferentes temperaturas debido a las diferencias de densidad causadas por la variación de la temperatura) de las temperaturas ensu interior, favoreciendo la acumulación del agua más caliente en la parte superior y del agua más fría en la parte inferior.

En situaciones donde se utilizan equipos prefabricados, el acumulador suele ser horizontal yse coloca en la parte superior del conjunto de captadores solares.

La estratificación permite disponer de un suministro "instantáneo" de agua a la temperatura deseada

sin necesidad de que todo el depósito se encuentre a esa temperatura. Además, contribuye a maximizar el rendimiento de los captadores solares.

Como consideraciones adicionales:

- La conexión de aspiración del circuito hidráulico hacia el intercambiador de calor externo o hacia los paneles solares debe ubicarse en la parte inferior del acumulador, preferiblemente en el tercio inferior.

- El retorno del intercambiador de calor externo o de los captadores solares se debe conectar preferentemente a una boca situada entre el 50% y el 75% de la altura total del acumulador.

- La entrada de agua fría de la red debe realizarse en la parte inferior del acumulador. En caso de que la entrada esté ubicada en la parte inferior del depósito (en lugar de lateralmente), se recomienda que dicha boca cuente con un deflector.

- El agua caliente debe extraerse de la parte superior del acumulador.

En general, los materiales comúnmente empleados para la fabricación de los acumuladores son el acero inoxidable y el acero al carbono, los cuales pueden contar con tratamientos interiores de vitrificado de una o dos capas, así como revestimientos de resinas epoxi. Además, el acumulador debe ser capaz de soportar temperaturas interiores superiores a los 70°C y contar con un sistema de protección catódica.

1.2.1.4 Subsistema de intercambio

El sistema de captación solar utiliza un fluido caloportador para captar el calor solar en los captadores y luego transferir esta energía a través de intercambiadores de calor al agua del circuito secundario, que es la que se calienta y se almacena en el depósito para su posterior uso. Esta separación de circuitos y el empleo de intercambiadores sin contacto directo entre los fluidos permiten un proceso eficiente y seguro en la captación y distribución de energía térmica.

La transferencia de calor se logra mediante el contacto del agua a calentar, del circuito secundario, con las paredes de la superficie de los conductos por donde circula el fluido caloportador. Todo este intercambio de calor se produce dentro del propio intercambiador.

Existen dos tipos de intercambiadores según su ubicación:

- Internos: Estos intercambiadores se encuentran dentro del depósito acumulador y son responsables de realizar la transferencia de calor en su interior.

- Externos: En contraste, los intercambiadores externos realizan la transferencia de calor fuera del

depósito, en una ubicación específica de la instalación.

Figura 6. Intercambiador de placas

1.2.1.5 Subsistema auxiliar

Para garantizar un suministro continuo de energía en una instalación solar, se incorpora un sistema de apoyo que proporciona la energía necesaria para cubrir la demanda en momentos en los que la energía almacenada en el depósito de acumulación no es suficiente. Según la normativa vigente, es obligatorio tener un sistema auxiliar con una potencia punta capaz de satisfacer el 100% de la demanda en todas las condiciones de funcionamiento. Esta solución de respaldo se basa en fuentes "convencionales" y su entrada en funcionamiento se gestionaa través de un mecanismo de control adecuado para minimizar su uso en la medida de lo posible.

1.2.1.7 Subsistema de distribución y de regulación y control

Para interconectar los elementos mencionados es necesario contar con un circuito que los vincule, regule y distribuya los fluidos de manera óptima. Para un funcionamiento adecuado, es esencial tener un subsistema de distribución compuesto por el circuito hidráulico y elementos de control y regulación.

El circuito hidráulico consta de varios elementos básicos, como:

- Tuberías: Tanto en el circuito primario como en el secundario, es importante contar con diseños adecuados en longitud y diámetros para superar las distancias. El cobrees el material más comúnmente utilizado para las tuberías.

- Bomba de recirculación: En la mayoría de los casos, tanto el circuito primario comoel secundario requieren una bomba para proporcionar el caudal adecuado y vencer las pérdidas por rozamiento en las tuberías. Para instalaciones de tamaño medio o grande, es obligatorio según HE-4 instalar dos bombas idénticas en paralelo, una en reserva.

- Vasos de expansión: Dado que el fluido caloportador experimenta cambios de temperatura significativos, los vasos de expansión absorben los cambios de volumen que ocurren debido a las variaciones térmicas.

- Purgadores de aire: Se instalan purgadores de aire en puntos elevados del circuito, especialmente

a la salida de los captadores solares, para evitar la formación de bolsas de aire y mantener una circulación ininterrumpida.

- Valvulería: Las válvulas juegan un papel crucial para controlar o impedir el flujo de fluido en las tuberías, cumpliendo diversas funciones, como aislar, equilibrar, garantizar la seguridad o permitir el flujo en un solo sentido.

- Regulación y control: Dispositivos como sondas, termostatos y una centralita (autómata o controlador diferencial) permiten comandar los diferentes componentes eléctricos de la instalación, como bombas y electroválvulas, según las temperaturas en varios puntos del sistema. La regulación busca maximizar la utilización de energía solar térmica y proteger contra sobrecalentamientos o congelaciones.

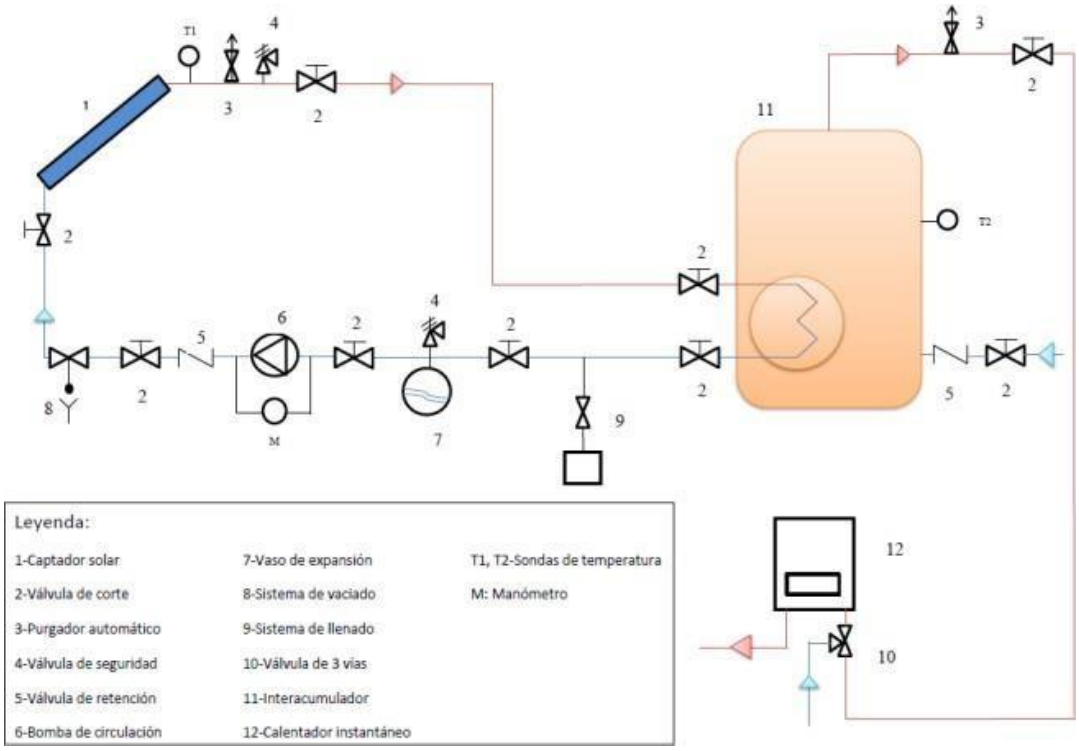


Figura 7. Componentes sistema hidráulico

1.3 Método de cálculo

Para la realización de las estimaciones pertinentes a la hora de alcanzar la contribución solar mínima del proyecto, se utilizará la herramienta de validación de la instalación solar CHEQ4 del IDAE. Es un programa que sirve para comprobar el cumplimiento del documento HE4, perteneciente al Código Técnico de la Edificación (CTE) en España, que se refiere a la "Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS)". El objetivo principal de este documento es establecer los requisitos y criterios técnicos para garantizar la utilización de energía solar en la generación de

agua caliente sanitaria en los edificios, fomentando así el uso de fuentes de energía renovables y la eficiencia energética.

El programa funciona con la metodología de cálculo “Metasol”, la cual se fundamenta en la utilización de curvas obtenidas a partir de los resultados de más de 69.000 simulaciones dinámicas realizadas con el software TRNSYS. Se ha llevado a cabo una detallada modelización de todas las configuraciones del programa CHEQ4 utilizando TRNSYS y posteriormente se han simulado diversos escenarios para cada una de ellas. Mediante un riguroso análisis estadístico, se han identificado las variables más relevantes, obteniendo así un conjunto de 14 curvas, dos por cada configuración, que permiten pronosticar las ganancias y pérdidas de cada sistema de manera precisa.

A continuación, se realizará un análisis de las diferentes opciones/paginas las cuales se deberán rellenar en un orden determinado para el uso correcto de la herramienta.

1.3.1 Localización

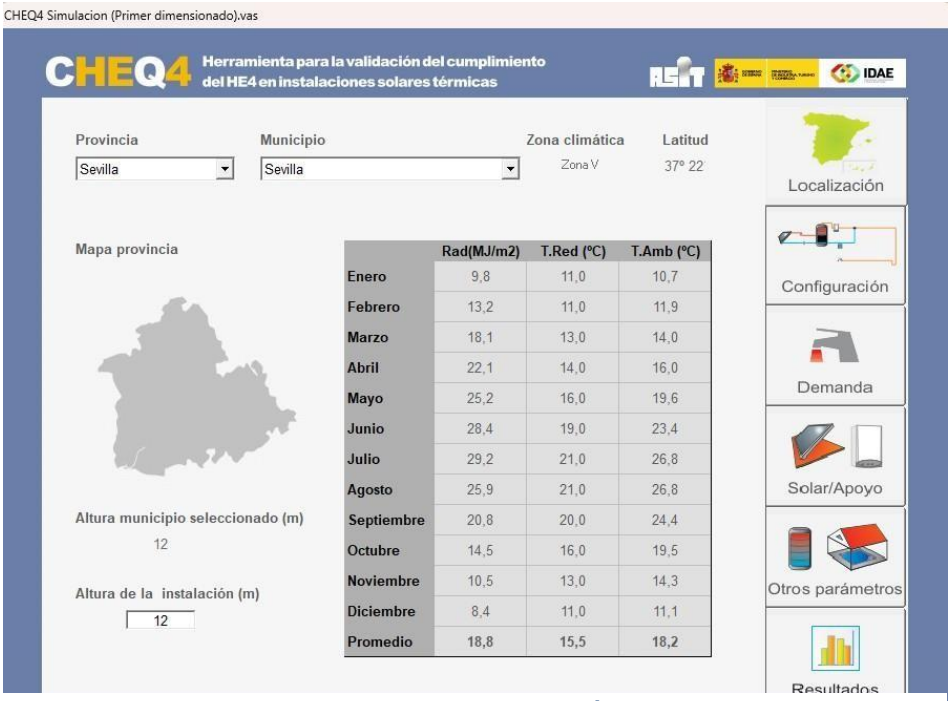


Figura 8. Localización

Dentro de la herramienta CHEQ4, todos los parámetros relacionados con el entorno y el clima del sistema se configuran en la pestaña "Localización". El usuario simplemente debe seleccionar la ubicación de la instalación (provincia y municipio) y su altitud con respectoal nivel del mar. Como resultado, el programa mostrará automáticamente la zona climática

asignada a ese municipio (según lo establecido en el documento HE4), así como la latitud y la altitud de referencia correspondientes

Además, el programa proporcionará una tabla con datos relevantes, como la radiación solar global media mensual en posición horizontal (según la norma UNE 94003), la temperatura media diaria mensual del agua de la red (según la norma UNE 94002) y la temperatura media diaria mensual del ambiente (según la norma UNE 94003). En caso de que la altitud especificada para la ubicación de la instalación no coincida con la altitud de referencia correspondiente, el programa realizará automáticamente una corrección en las temperaturas del agua de la red y del ambiente, siguiendo la metodología establecida en las normas UNE 94002 y UNE 94003.

1.3.2 Configuración

Una de las principales características de CHEQ4 y de su metodología de cálculo Metasol es que ambos han sido especialmente diseñados para predecir correctamente el comportamiento de las tipologías de instalaciones más habituales en nuestro país. Las diferentes configuraciones disponibles se encuentran agrupadas según sean para "Consumo único" o "Consumo múltiple". Se selecciona el tipo de instalación que más se ajuste al sistema del proyecto. En las figuras siguientes se muestran los 8 tipos instalaciones.

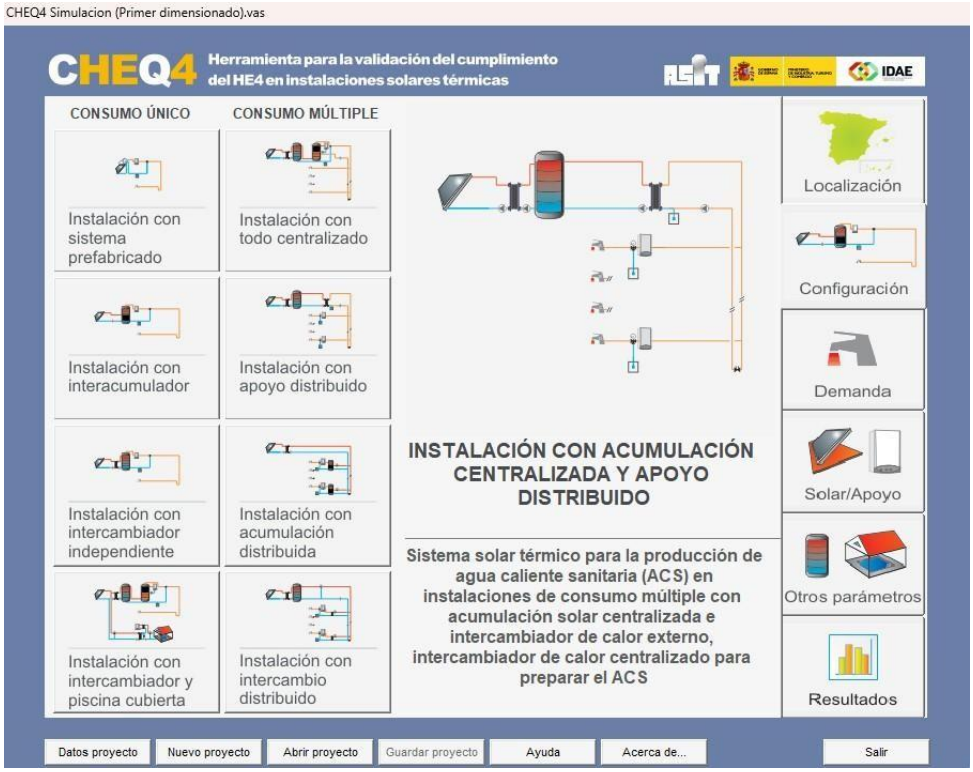


Figura 9. Consumo Único

Figura 9. Consumo Único

.

Figura 10. Consumo Múltiple

1.3.4 Demanda

Dentro de la pestaña "Demanda" se debe proporcionar información precisa sobre la demanda total de agua caliente sanitaria del edificio. Los parámetros requeridos variarán según se trate de

una instalación de consumo individual o de consumo múltiple.

En el caso de una instalación de consumo individual, el cálculo de la demanda se basará enel tipo de aplicación final correspondiente (según se establece en el apartado HE-3.1.1).

El usuario simplemente deberá seleccionar el tipo de aplicación y el número de elementos asociados a dicha aplicación.

Para las instalaciones que requieran definir un consumo múltiple, será necesario especificar el número de viviendas y dormitorios correspondientes.

Además, en la sección de "Consumo total", existe la posibilidad de especificar otras demandas diarias adicionales que no hayan sido contempladas en los apartados anteriores. El valor de estas demandas se sumará directamente al cálculo previo realizado en los apartados anteriores.

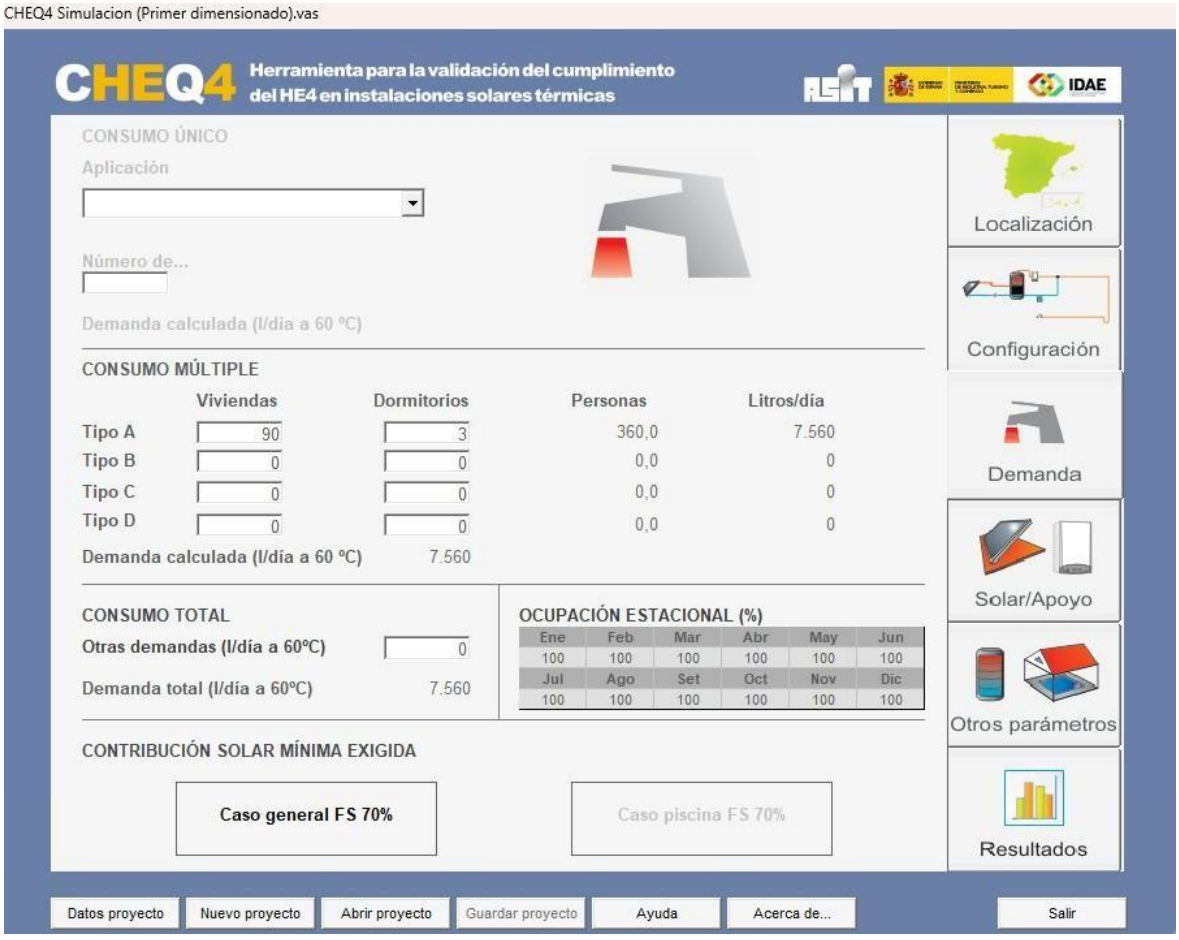


Figura 11. Demanda

Llegados a este punto, CHEQ4 ya es capaz de determinar automáticamente cuál ha de serel requerimiento de contribución solar mínima exigida por el HE4. En el apartado “Contribución solar mínima exigida”, de la figura 13, se muestra cual debe ser esa contribución solar mínima en función del

sistema de apoyo utilizado.

Tabla 2.1. Contribución solar mínima anual para ACS en %.

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

Figura 12. Contribución solar mínima

1.3.5 Solar/Apoyo

Como se puede observar en la figura 14, en la ventana solar/apoyo se pueden seleccionar todos los parámetros asociados a los captadores solares, desde diferentes modelos proporcionados por el software, hasta las características del campo de captadores, así como parámetros del circuito primario/secundario y determinación del sistema de apoyo.

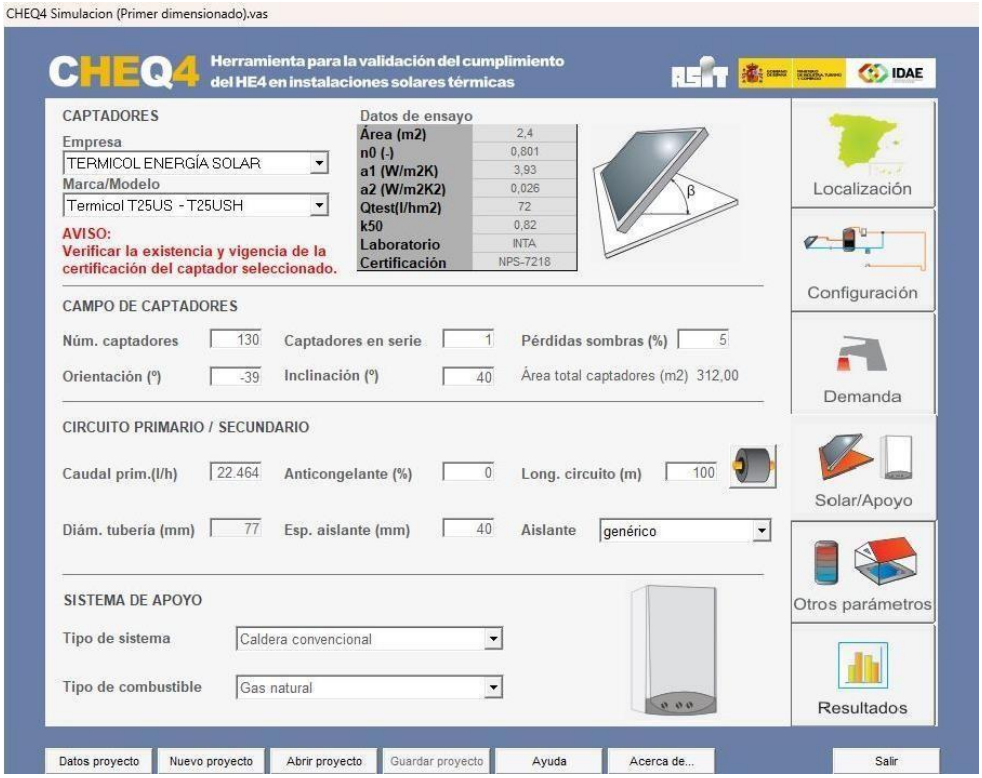


Figura 13. Solar/Apoyo

1.3.6 Otros parámetros

El usuario debe proporcionar los parámetros específicos de cada configuración. Los campos que no correspondan al tipo de instalación seleccionada aparecerán inactivos y en color gris.

Dentro de CHEQ4, se requiere editar un único parámetro para definir el volumen total en litros de la instalación solar, ya sea compuesta por uno o varios acumuladores solares centralizados. Esta configuración es válida tanto para acumuladores solares en instalaciones de consumo individual como para acumuladores centralizados en instalaciones de consumo múltiple.

Para una correcta parametrización de las instalaciones con acumulación distribuida, es necesario especificar el volumen total de todos los acumuladores (en litros), el tipo de aislante del acumulador y su espesor (en milímetros). La base de datos de aislantes utilizada es la misma que se utiliza para las tuberías.

El circuito de distribución agrupa todas las tuberías que se encuentran después de la sala de máquinas (normalmente después del acumulador, en caso de que exista) y distribuye el agua caliente sanitaria hasta los puntos de consumo y, en algunos casos, permite la recirculación. En el caso de instalaciones de consumo múltiple, se considerará que el circuito de distribución corresponde a la red de distribución individual hacia las viviendas.

El circuito de distribución de las subestaciones agrupa todas las tuberías que se encuentran entre la red de distribución general y las derivaciones hacia las viviendas individuales. Para definir este circuito, es necesario especificar la longitud total de las tuberías (tanto la de impulsión como la de retorno), desde la bajante (distribución vertical) hasta la subestación (vivienda, en el caso de una vivienda individual), el diámetro interior de las tuberías (en milímetros), el tipo de aislante utilizado y su espesor.

Al igual que en el caso del circuito primario y el circuito de distribución, se dispone de una herramienta de cálculo de longitud equivalente.

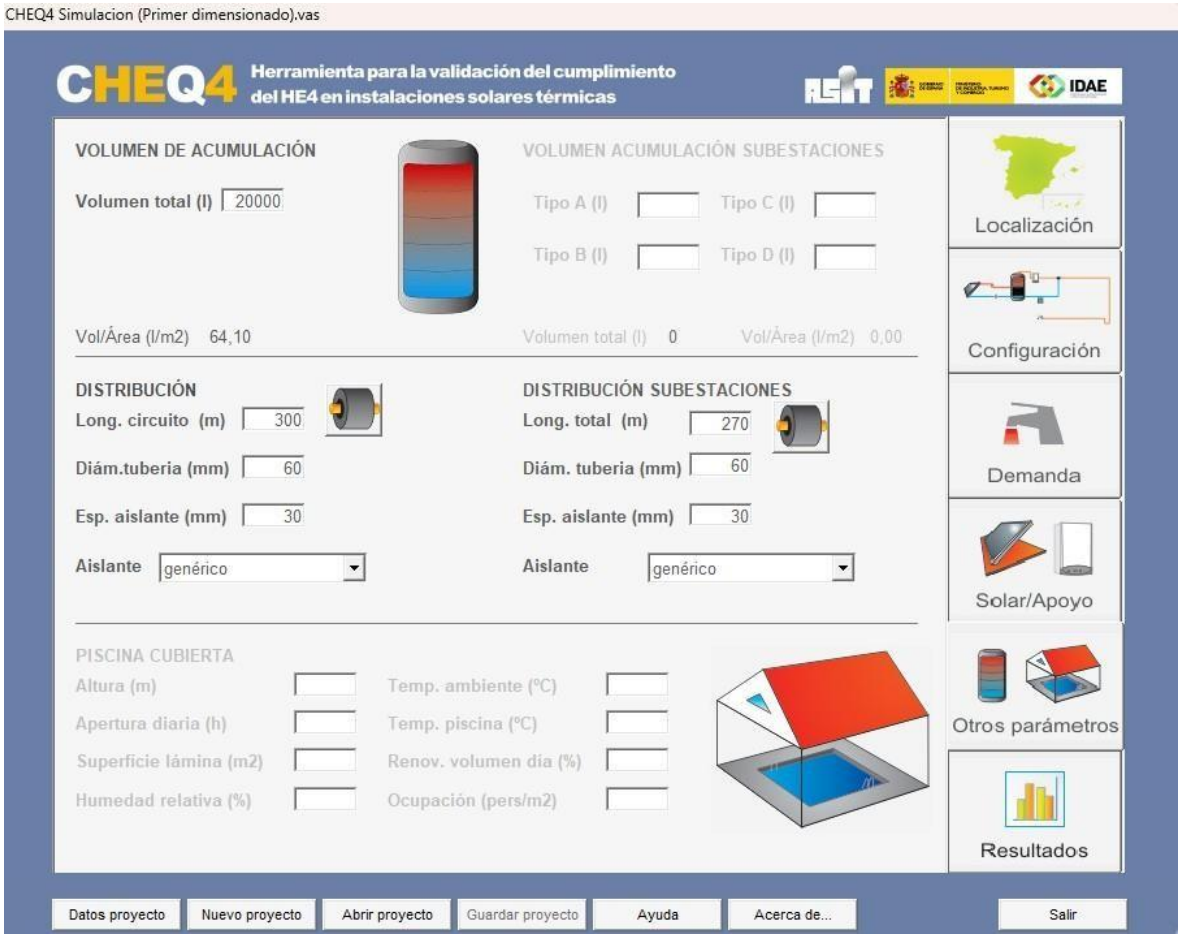


Figura 14. Otros parámetros

1.3.7 Resultados

La pestaña final de CHEQ4 se encarga del cálculo y la visualización de los resultados. Al ingresar a esta pestaña, el programa realiza el cálculo de las ganancias y pérdidas de la instalación según la metodología de cálculo Metasol.

En la parte superior izquierda de la ventana, hay un indicador que brinda al usuario una rápida visión de si el sistema especificado cumple o no cumple con los requisitos de contribución solar mínima establecidos por el HE4.

En la tabla de resultados se muestran los valores anuales de los siguientes indicadores y resultados:

- Fracción solar (%): Fracción entre los valores anuales de la energía solar aportadaexigida y la demanda energética anual.
- 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 solar aportada por la instalación.
- Consumo de energía primaria auxiliar (kWh): Energía aportada por la instalaciónauxiliar de apoyo para satisfacer la demanda total.
- Reducción de las emisiones de CO2 asociadas a la utilización del sistema solartérmico (kg)

También se muestran gráficamente los valores mensuales de fracción solar, demanda bruta, fracción solar y consumo auxiliar.

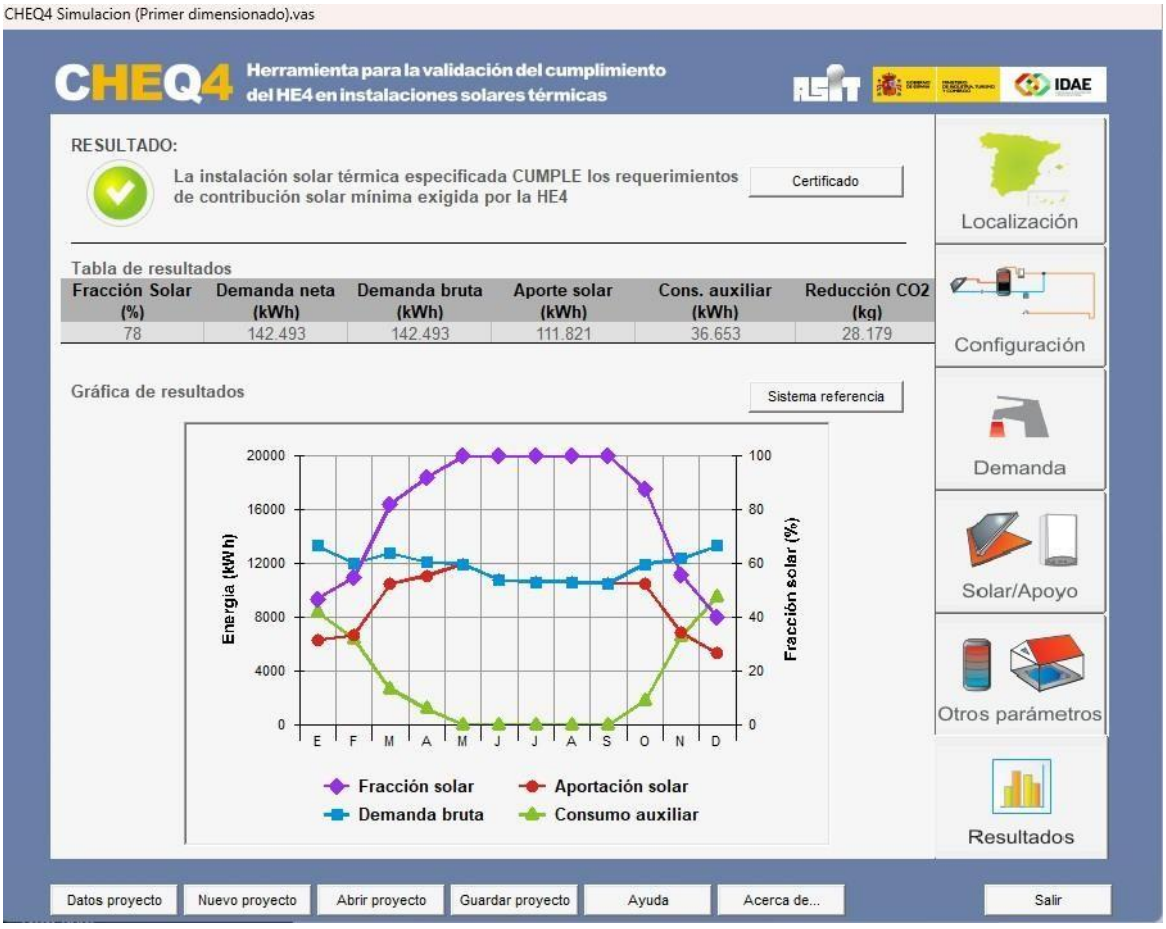


Figura 15. Resultados

1.4 Descripción del edificio

El edificio en cuestión es un bloque de seis plantas situado en la localidad de Sevilla, cada planta está formada por diferentes viviendas individuales, concretamente 15 viviendas por planta, resultando una capacidad total estimada de 360 personas. Cuenta además con una cubierta despejada de superficie plana de 2000 m², características suficientes para ubicar el campo de captadores solares.

El bloque no se verá afectado por pérdidas por sombreado, debido a que la cubierta sobrepasa con cierta holgura la altura máxima de los edificios colindantes, dejando por consiguiente libertad plena a la hora de situar el campo de captadores de la manera más eficiente posible.

En cuanto al sistema convencional de producción de ACS, el bloque dispone de calentadores instantáneos a gas natural individuales, instalados en lavadero para ventilación favorable a través de ventanas y conducto directo al exterior. Con conductos de evacuación de humos y gases según NE/ISH.

Los equipos cuentan con llaves de paso a la entrada y salida del calentador para permitir su desmontaje en caso de avería. Fijado al paramento mediante pernos de acero de 10 mm. de diámetro, empotrados de 80 mm. como mínimo en tabicón de núcleo húmedo.

1.5 Descripción de la instalación solar

El objetivo de este proyecto consiste en la implantación de un sistema solar destinado a generar agua caliente para las necesidades sanitarias de uno de los módulos que componen el edificio. El propósito principal es atender la demanda de agua caliente para un total de 90 viviendas con dos dormitorios.

1.5.1 Instalación de ACS

El suministro de agua caliente sanitaria se extenderá a los siguientes puntos de uso:

- Lavabos
- Duchas
- Fregaderos

Como medida complementaria al sistema de producción de ACS, se ha contemplado la instalación de termos acumuladores eléctricos con una capacidad de 80 litros cada uno. Estos termos eléctricos serán alimentados con agua precalentada en el intercambiador que conecta circuito secundario y terciario. Para evitar retrocesos en este circuito, se implementarán válvulas de paso en la entrada y salida de agua de los termos.

1.5.2 Circuito primario

El circuito primario solar representa la instalación que enlaza los captadores solares con el intercambiador, encargado de calentar la acumulación de agua caliente sanitaria (ACS) generada mediante energía solar. Este sistema se configura mediante un circuito cerrado que engloba las etapas de impulsión y retorno, incorporando las válvulas de corte y regulación necesarias para su control. Para facilitar el transporte de la energía captada por los captadores solares, se dispone de un grupo hidráulico de bombeo. El fluido de trabajo en el circuito primario es agua sin anticongelante.

En cuanto a las tuberías empleadas en esta instalación, se opta por utilizar tuberías de cobre con grosores variables, diseñadas para soportar sin inconvenientes las condiciones máximas de funcionamiento del sistema. Para cumplir con los estándares normativos, el circuito presenta

una disposición de retorno invertido, lo que contribuye a equilibrar las pérdidas de carga. Además, se garantiza el aislamiento de las tuberías del circuito primario mediante una capa de aislamiento de 35 mm de espesor. Para preservar este aislamiento de los efectos nocivos de los rayos ultravioleta y las inclemencias meteorológicas, se aplica una capa protectora de aluminio en el exterior.

La necesidad de un vaso de expansión en el circuito primario es imperativa, ya que este opera como un sistema cerrado que experimenta fluctuaciones en la temperatura, presión y volumen.

En lo que respecta al intercambiador, este elemento cumple una función vital al establecer una separación hidráulica entre el circuito primario y el circuito secundario, abastecido con agua de la red. Además de esta separación, el intercambiador facilita la transferencia eficiente de calor desde los captadores solares hacia el acumulador solar. Para este propósito, se opta por un intercambiador de placas de acero inoxidable.

1.5.3 Circuito secundario

El circuito secundario, al igual que el primario, opera como un sistema cerrado. Su punto de inicio se encuentra en el intercambiador de placas y su función principal es transportar el calor captado hacia el acumulador solar. Posteriormente, canaliza este calor hacia el intercambiador que conecta con el circuito terciario.

En comparación con una disposición que emplea acumuladores individuales, se evita la complicación de asignar espacio para interacumuladores descentralizados, que resulta impracticable debido al diseño compacto de las viviendas en este contexto.

El sistema de almacenamiento propuesto se basa en dos acumuladores con una capacidad de 10000 litros, diseñados para satisfacer las necesidades del edificio. La acumulación de energía resulta esencial debido a la diferencia temporal entre la captación de radiación solar y la demanda de agua caliente. Su finalidad principal consiste en almacenar la energía solar captada para su posterior suministro cuando se requiera.

Para garantizar el flujo adecuado, se implementará un grupo de bombeo, compuesto por dos bombas en paralelo. Tiene la responsabilidad de mover el agua de la red desde el acumulador hasta el intercambiador de placas.

1.5.4 Circuito terciario

Por último, el circuito terciario, pone a disposición de cada una de las viviendas agua precalentada por la instalación solar en el intercambiador de placas. Cada vivienda debe disponer de un contador de agua en la acometida de agua caliente que, en este caso, contabiliza el caudal de agua precalentada por la instalación solar. Cada vivienda dispone de un sistema de energía de apoyo individual que garantice que el agua alcance la temperatura de preparación y un circuito de

distribución interior para suministrar ACS a todos los puntos de consumo.

Se han considerado dos zonas en el bloque de viviendas, que trazando un eje imaginario justo por la mitad sitúa ambas zonas a cada lado del eje. La distribución de la red de tuberías en sendas zonas es perfectamente simétrica.

1.5.5 Sistema de control

El sistema de gestión de una instalación solar cumple un papel crucial al regular los flujos de energía entre los captadores solares, el sistema de almacenamiento y el consumo, garantizando un funcionamiento óptimo en todo momento. Además de esta función, desempeña un papel esencial en la protección contra diversos factores, como el sobrecalentamiento del sistema y el riesgo de congelación.

Para lograr un funcionamiento automático eficaz, es necesario dotar a la instalación de un sistema de control que habilite el encendido de las bombas primaria y secundaria cuando hay suficiente energía en los captadores para ser utilizada y las detenga cuando ya no sea el caso.

La regulación del sistema se lleva a cabo mediante una unidad central de regulación, que, basándose en datos proporcionados por una serie de sensores, controla adecuadamente las diversas bombas para optimizar el rendimiento de la instalación. Para esta tarea, se emplea un termostato diferencial que mide la diferencia de temperaturas entre la salida de la matriz de captadores y la parte inferior del tanque de almacenamiento. La bomba del circuito primario comienza a funcionar cuando la diferencia de temperaturas entre la salida del campo de captadores y el deposito de acumulación sea superior a 7ºC, y se apagara cuando esta diferencia es menos a 3ºC. La bomba en el circuito secundario actuará de la misma manera, pero con un retardo de unos 90s para tener en consideración la inercia de la tubería de retorno del primario. Tiempo que dependerá de la velocidad del fluido y de la longitud de la tubería y se ajusta durante la puesta en marcha.

Con el fin de evitar continuos ciclos de arranque y parada, el termostato diferencial opera con un margen de histéresis, de manera que las bombas se activan cuando la diferencia de temperaturas supera un cierto umbral y se detienen cuando la diferencia cae por debajo de otro valor menor. Para llevar a cabo esta regulación de manera efectiva, es esencial tomar lecturas tanto en la zona más caliente del circuito primario, que es la parte superior de los captadores, como en la zona más fría, que corresponde a la parte inferior del acumulador. Por lo tanto, los sensores deben estar estratégicamente ubicados en estos puntos.

El sistema de control garantizará que las bombas nunca estén en funcionamiento cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 3 ºC ni detenidas cuando la diferencia sea superior a 7ºC.

Por otro lado, la bomba del circuito de distribución y el circuito terciario se regulará mediante un reloj programador diario para lograr un encendido y apagado automáticos. Esto permitirá un funcionamiento intermitente que satisfaga la demanda durante los momentos del día en que esta sea más relevante.

En el caso de que la temperatura en la salida de los captadores supere los 90 grados Celsius, el sistema de control entra en acción. Activa la bomba en el circuito primario y ajusta la posición de la válvula de tres vías ubicada en dicho circuito. Esto permite redirigir el flujo de agua procedente del campo de captadores hacia el aerotermo, evitando de esta manera un sobrecalentamiento en los propios captadores solares.

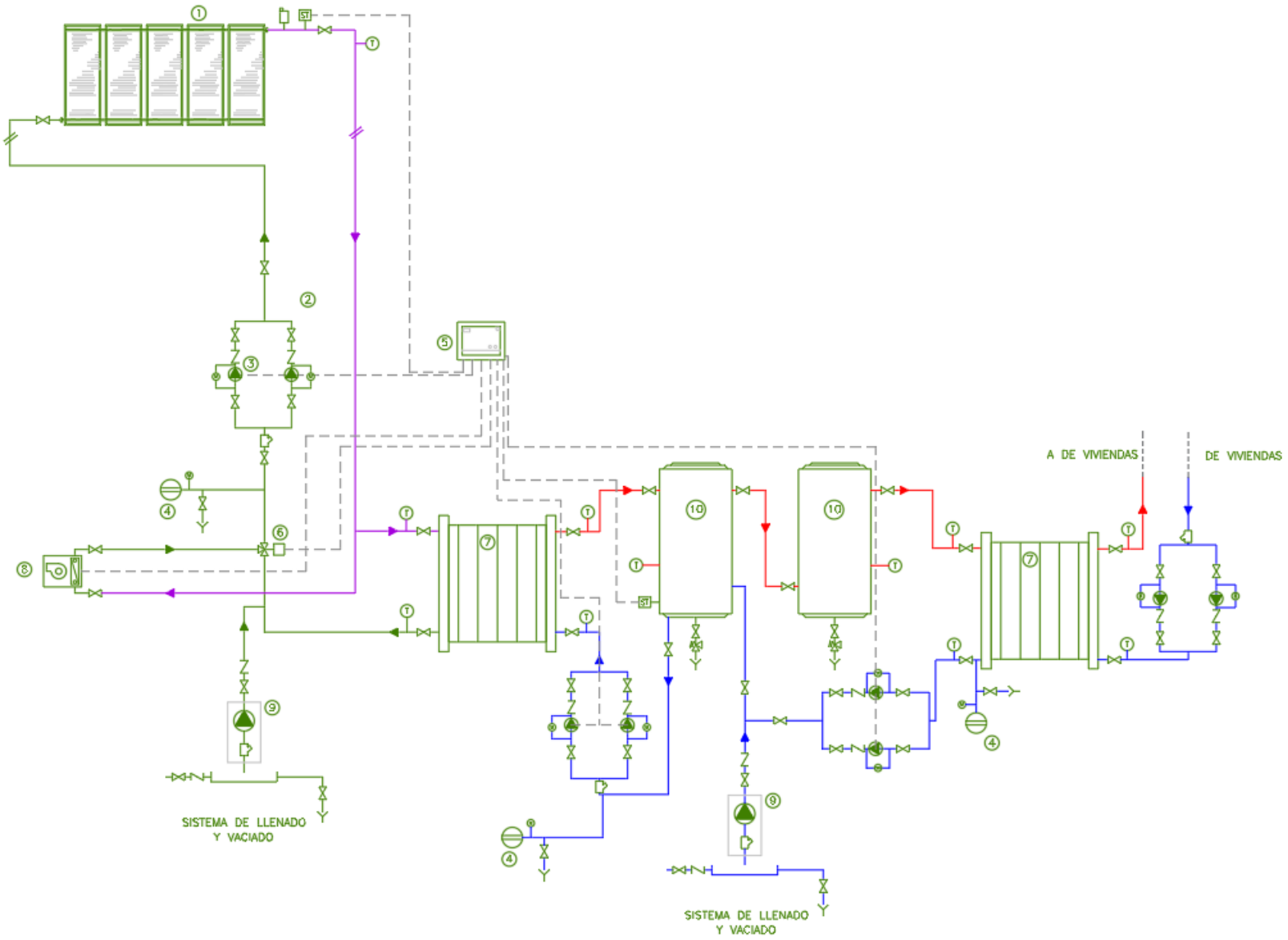


Figura 16. Esquema de principio de instalación

1.6 Características de la instalación solar

1.6.1 Captadores solares

Se han elegido para la instalación captadores de la marca TERMICOL. Modelo T25US,parte de la gama de captadores T-US

Características técnicas del captador:

- Superficie bruta: 2,5 m².
- Superficie neta: 2,4 m²
- Dimensiones totales: 2400 x 1000 x 1000 mm.
- Caudal de ensayo 72 l/h m²
- K50: 0,82
- Cubierta: Vidrio templado con bajo contenido en hierro.
- Aislamiento: Tipo manta de lana de vidrio de gran espesor.
- Absorbedor: multibanda, de aluminio con soldadura ultrasónica.
- Número de tubos: 8.
- Capacidad de fluido: 1,1 litros.
- Peso en vacío: 38 kg.

Figura 17. Captador solar

- Presión máxima de trabajo: 6 atm.
- Rendimiento óptico: 80,1 %.
- Coeficiente de pérdidas k1: 3,93 W/ m²K.

- Coeficiente de pérdidas k2: 0,026 W/ m²K².
- Sistema de fijación: Es necesario adquirir los elementos de fijación aparte.

1.6.2 Depósito de acumulación

En el caso de los acumuladores solares, se ha optado por la instalación de dos depósitos de10,000 litros cada uno, conectados en serie para lograr una capacidad total de 20,000 litros. Estos depósitos pertenecen a la marca Lapesa y corresponden al modelo MV-10-IB. Dentro de esta línea de depósitos, existe la posibilidad de incorporar serpentines desmontables de acero inoxidable y, además, están diseñados para admitir resistencias eléctricas tanto como fuente principal o de respaldo para el calentamiento.

Los depósitos acumuladores pueden ser suministrados de un sistema de protección catódica permanente o con un aislamiento desmontable de 50 o 100 mm de espesor enfibra de vidrio, recubierto con PVC.

A continuación, se describen sus principales especificaciones:

- Capacidad: 10000 l.
- Material: acero carbono S235JR.
- Presión de trabajo: 6 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 110ºC.
- Boca de hombre lateral: DN400.
- Peso en vacío: 1243 kg.
- Dimensiones:

a: conexión lateral, 3´´ GAS/H
b: conexión inferior, 1-1/4 ´´ GAS/H c: conexión superior, 2´´ GAS/HR: conexión lateral, 2´´ GAS/H g: conexión sensores ¾ ´´GAS/H
BH: boca de paso de hombre lateral DN400.d: depósito acumulador.
j: orejetas manipulación.p: pies de elevación.

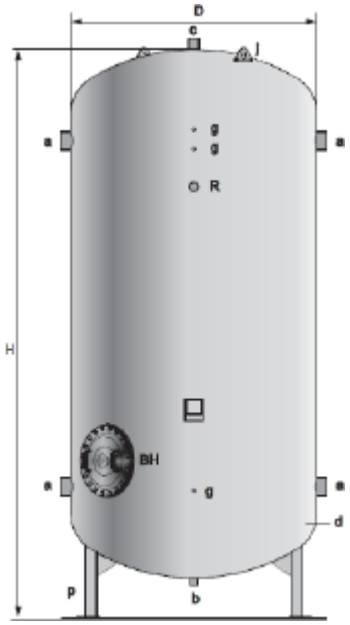


Figura 18. Acumulador

1.6.3 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor escogido ha sido es intercambiador de placa termosoldado de lamarca ALDINGÁS, modelo S3/50 y S3/60, para primario/secundario y terciario respectivamente.

Características técnicas S3/60:

- Número de placas: 60
- Área de intercambio: 2,9 m2.
- Potencia: 156 kW.
- Material: Acero inoxidable AISI 316L.
- Caudal circuitos: 6,24 kg/s
- Salto térmico circuitos: 6 ºC.
- Pérdida de carga circuitos: 3,5 m.c.a.

Características técnicas S3/50

- Número de placas: 50
- Área de intercambio: 2,4 m2.
- Potencia: 128,84 kW.
- Material: Acero inoxidable AISI 316L.
- Caudal circuitos: 3,08 kg/s
- Salto térmico circuitos: 10 ºC.
- Pérdida de carga circuitos: 3,43 m.c.a.

Figura 19. Intercambiador de placas

1.6.4 Bomba de circulación

Las bombas seleccionadas para los circuitos primario son bombas centrífugasde acero inoxidable con acoplamiento para motor normalizado B3/B5, modelo MGX-E 40-125/2,2.

Prestaciones:

- Presión máxima de trabajo: 10 bar
- Temperatura máxima del líquido vehiculado: -20/ +120 ºC
- Características:

  - Caudal 15 m3/h
  - Numero de polos 2 y 4
  - Peso 35 kg
  - Consumo de potencia nominal 2,2 kW
  - Altura 19,5m

Figura 20. Bomba de recirculación

Para el circuito secundario, terciario y distribución, se ha elegido un modelo anterior, concretamente el modelo MGX-E-40-125/1,5. Mantiene las prestaciones del modelo 2,2, y difiere en las siguientes características:

- Peso 33 kg

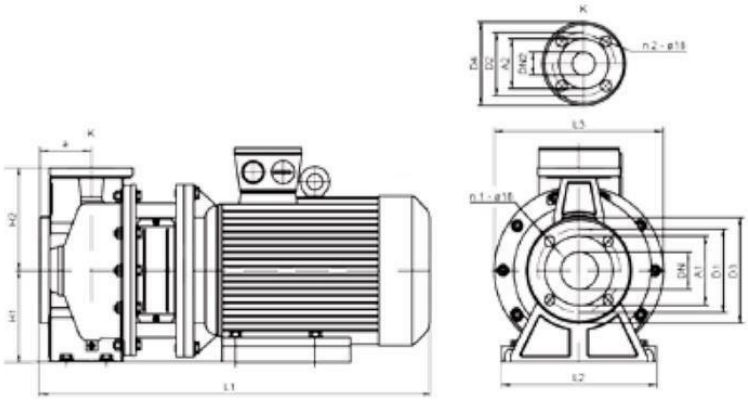


Figura 21. Dimensiones

- Consumo de potencia nominal 1,5 kW
- Altura 15,4 m

1.6.5 Vaso de expansión

Vaso de expansión de membrana fija de la marca Bombas HASA, modelo "Vaso expansión 150 l" y "Vaso-expansión 500 l", ambos tipo B. Prestaciones:

- Capacidad: 5 l. - 500 l.
- Presión máxima: 8 - 10 BAR
- Construidos con chapa de acero embutido con pintura epoxi de largaduración de color rojo.
- Membrana fi ja de goma SBR.
- Temperatura del líquido: -10ºC / 99ºC.
- Homologados y conformes a la directiva2014/68/UE.

Dimensiones:

- A: 500 mm
- C: 935 mm
- Ø: ¾"

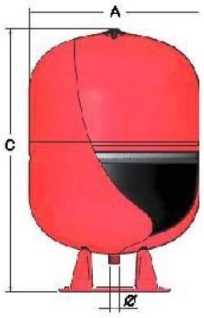


Figura 22. Vaso de expansión

1.7 Normativa

La instalación proyectada debe cumplir tanto con el Código Técnico de la Edificación CTE- HE4 como con el Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE).

a) Código Técnico de la Edificación CTE-HE4:

- Logro de la contribución solar mínima: De acuerdo con las directrices del CTE HE4, considerando la clasificación de la zona climática V para Sevilla, se debe alcanzar unafracción solar mínima del 70%. La instalación propuesta exhibe una contribución solar del 78%.

- Cumplimiento del cálculo de la demanda: El procedimiento de cálculo de la demanda se lleva a cabo en el Informe de Cálculos.

b) Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE).

- Cumplimiento de la IT 1.1.4.3.1. "Preparación de Agua Caliente para Usos Sanitarios"

El agua caliente destinada a usos sanitarios se deberá calentar a la temperatura mínima quesea compatible con su uso, considerando las pérdidas en la red de distribución.

- Cumplimiento de la IT 1.2.4.2.1. "Aislamiento Térmico"

Todas las tuberías, accesorios y equipos de la instalación deberán contar con aislamiento térmico. Esto evitará el consumo innecesario de energía y garantizará que los fluidos caloportadores alcancen las unidades terminales con una temperatura cercana a la de salida de producción.

Los espesores del aislamiento, calculados según se detalla en la sección 2.2.3 del presente proyecto, cumplen con las especificaciones establecidas en el RITE, como se evidencia enel punto 2.11.

Para prevenir la congelación del agua en tuberías expuestas a temperaturas por debajo de su punto de fusión, se emplea una mezcla de agua y anticongelante, usando una mezcla de 20% en peso de glicol.

- Cumplimiento de la IT 1.3.4.4.5. "Medición"

La instalación está provista de la instrumentación de medición adecuada para supervisar las variables fundamentales que afectan a su funcionamiento: presión y temperatura. Esta instrumentación se basa en termómetros, termostatos y manómetros.

Los instrumentos de medición se colocan en ubicaciones visibles y de fácil lectura. Los sensores de temperatura dentro del circuito de agua penetran en la tubería a través de una vaina hecha de una sustancia conductora de calor.

Los instrumentos de medición que componen la instalación son los siguientes:

- Un manómetro en el depósito de expansión cerrado, ubicado en el circuito primario del sistema solar.

- Un manómetro en la succión y otro en la descarga de las bombas, permitiendo una lecturade presión diferencial.

- Termómetros y manómetros en la entrada y salida del interacumulador de calor.

Instalación de Energía Solar para la Producción de Agua Caliente Sanitaria en un bloque de viviendas.

- Cumplimiento de la IT 2.3.3. "Sistemas de Distribución de Agua"

Las distintas ramificaciones del subsistema solar primario están conectadas de manera que se logre un equilibrio hidráulico con retorno invertido en el circuito.

Las tuberías se colocarán en lugares accesibles a lo largo de sus recorridos para facilitar su inspección, especialmente en los tramos principales y sus accesorios.

- Cumplimiento de la IT 2.3.4. "Control Automático"

Los sistemas de control del sistema solar se describen en la sección 1.4.6 de este documento, cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma: control y limitación de temperatura.

1.8 Bibliografía

1) Código técnico de la edificación (CTE), sección HE 4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.” 2022.

2) IDAE “Reglamento de instalaciones térmicas en edificios” 2022.

3) IDAE, “Guía técnica de agua caliente sanitaria central” 2010.

4) Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE) 2022.

5) Grupo de Termotecnia. Apuntes de Energía Solar. Departamento de Ingeniería Energética. Escuela
Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2022

6) AEONOR, Norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004.

7) AEONOR, Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria” 2005.

8) AEONOR, Norma UNE 94003 “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas” 2007.

2. MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Introducción

El presente documento tiene como objetivo principal fundamentar todas las consideraciones y decisiones adoptadas en el diseño de una instalación de agua caliente sanitaria para un bloque de viviendas en Sevilla. Se llevará a cabo un análisis y justificación de los cálculos realizados, así como la selección adecuada de los equipos y elementos necesarios para la implementación de la instalación. El diseño se desarrollará siguiendo las directrices establecidas por el reglamento técnico correspondiente, garantizando así el cumplimientode los estándares y normativas requeridas para asegurar el óptimo funcionamiento y eficiencia de instalación.

2.2 Datos de partida

La ubicación de la instalación tiene los datos climáticos que se muestran en la tabla 1.

Edificio	Bloque de viviendas
Localidad	Sevilla
Altura sobre el nivel del mar	7
Longitud	-5.973
Latitud	37.38
Zona climática	V

Tabla 1. Datos geográficos

La superficie de captación tiene una inclinación de 40 grados y se encuentra orientada con respecto alsur a -39 grados. Para determinar la radiación solar incidente en esta superficie a partir de la radiaciónsolar incidente en una superficie horizontal, aplicamos el método desarrollado por Klein y Theilacker.El proceso comienza con la descomposición de la radiación solar horizontal media diaria mensual en sus componentes directa y difusa. Luego, se realiza la conversión de la radiación directa y difusa desde una superficie horizontal a una superficie inclinada.

En un primer paso, calculamos la declinación solar (δ), que se define como el ángulo formado entre elplano del ecuador y la línea que conecta el centro del sol con el centro de la Tierra. Esta declinación se determina mediante la ecuación de Cooper.

$$\delta = 23.45 \times sin\left(\frac{360}{365} \times (n + 284)\right)$$

Necesario también para los cálculos que se van a desarrollar, es el ángulo de salida del sol, denominado ángulo horario (ws):

$$w_s = arcos\,(-tan\,\phi \times tan\,\delta)$$

En la tabla 2 se muestra para cada mes del año, el día del año para el cual se calcula ladeclinación solar (n), la declinación solar y el ángulo horario.

Mes	n	Declinación δ (º)	Ángulo horario ws (º)
Enero	17	-20.92	73.02
Febrero	47	-12.95	79.88
Marzo	75	-2.42	88.15
Abril	205	19.82	105.98
Mayo	135	18.79	105.07
Junio	162	23.09	109.01
Julio	198	21.18	107.22
Agosto	228	13.45	100.53
Septiembre	258	2.22	91.69
Octubre	288	-9.60	82.58
Noviembre	318	-18.91	74.83
Diciembre	344	-23.05	71.03

Tabla 2. Declinación y ángulo horario

La irradiación global extraterrestre sobre una superficie horizontal (H0) se calcula de lasiguiente manera:

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} \times G_s \times \left(1 + 0.033\, cos\left(\frac{360 \times n}{365}\right)\right) \times \left(\frac{\pi \times w_s}{180}\, sin\,\delta \times sin\,\phi + cos\,\delta \times cos\,\phi \times sin\,w_s\right)$$

Gs: Constante solar 1367 W/m2

La relación entre la irradiación anual sobre una superficie horizontal situada en la Tierra y la irradiación anual sobre superficie horizontal, se denomina índice de claridad medio (kt)

$$k_t = \frac{H_{G0}}{H_0}$$

Ya se ha determinado el método para obtener H0, en cuanto a HG0 su valor varía según elmes de año, y su valor aparece tabulado en la tabla 3

Mes	Hg0 Irradiación global horizontal [MJ/m2]	H0 Irradiación extraterrestre horizontal [MJ/m2]	Kt Índice de claridad media mensual
Enero	10.00	16.82	0.59
Febrero	13.40	22.02	0.61
Marzo	18.10	28.61	0.63
Abril	22.90	40.07	0.57
Mayo	26.20	39.87	0.66
Junio	28.40	41.68	0.68
Julio	28.70	40.70	0.71
Agosto	25.60	37.00	0.69
Septiembre	20.90	30.98	0.67
Octubre	14.90	23.91	0.62
Noviembre	10.70	18.02	0.59
Diciembre	8.60	15.38	0.56

Tabla 3 Irradiación e índice de claridad media

A continuación, se realizará la descomposición de la radiación global horizontal en radiación directa ydifusa. Para llevar a cabo este proceso, se emplearán dos correlaciones diferentes, eligiendo una u otra según el valor de ws para cada mes. Estas ecuaciones permiten el cálculo de la radiación difusa enfunción de la radiación global, ambas medidas en una superficie horizontal.

Para ws <= 81. 4º (invierno) se empleará la ecuación número 1, el resto del año se utiliza la número 2.

$$\frac{H_d}{H} = 1.391 - 3.56 \times k_t + 4.189 \times k_t^2 - 2.137 \times k_t^3 \quad (1)$$

$$\frac{H_d}{H} = 1.311 - 3.022 \times k_t + 3.427 \times k_t^2 - 1.821 \times k_t^3 \quad (2)$$

La radiación directa se obtiene, sabiendo que la suma de radiación directa y difusa, es la radiación global H. La tabla 4 muestra estos resultados.

Mes	H Irradiación global horizontal [MJ/m2]	HD Irradiación directa [MJ/m2]	Hd Irradiación difusa [MJ/m2]
Enero	10.00	6.94	3.06
Febrero	13.40	9.46	3.94
Marzo	18.10	12.50	5.60
Abril	22.90	14.58	8.32
Mayo	26.20	18.65	7.55
Junio	28.40	20.82	7.58
Julio	28.70	21.65	7.05
Agosto	25.60	19.01	6.59
Septiembre	20.90	15.20	5.70
Octubre	14.90	10.16	4.74
Noviembre	10.70	7.02	3.68
Diciembre	8.60	5.71	2.89

Tabla 4. Irradiación

El cálculo de la radiación global incidente en una superficie inclinada implica determinar la relaciónR entre la radiación global en dicha superficie inclinada y la radiación global en una superficie horizontal. Para realizar este cálculo, aplicamos el método desarrollado por Klein y Theilacker, el cuales válido para cualquier ángulo azimutal (γ). Esta relación se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$R = D + \frac{H_d}{H} \times \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho_g \times \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$$

D: *Relación entre radiacion directa en superficie inclinada y en la horizontal*
H_d: *Radiación difusa sobre la superficie horizontal*
β: *Inclinación del captador solar*
ρ_g: *Reflectividad del suelo*

Para el cálculo de D, es necesario conocer β y Φ, ángulo de inclinación del captador solar y latitud delemplazamiento, respectivamente, así como wsr y wss, correspondientes a los ángulos horarios de salida y puesta del sol para el día medio del mes. Los resultados, obtenidos de todas las ecuaciones

mostradas en la zona inferior de la página, están recogidos en la tabla 5.

$$D = \begin{cases} \max(0, G(\omega_{ss}, \omega_{sr})) & if\ \omega_{ss} \geq \omega_{sr} \\ \max(0, G(\omega_{ss}, -\omega_s) + G(\omega_{ss}, \omega_{sr})) & if\ \omega_{sr} > \omega_{ss} \end{cases}$$

$$G(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{2d} * [\left(\frac{bA}{2} - a'B\right)(\omega_1 - \omega_2)\frac{\pi}{180} + (a'A - bB)(sin\omega_1 - sin\omega_2) - a'C(cos\omega_1 - cos\omega_2) + \frac{bA}{2}(sin\omega_1 cos\omega_1 - sin\omega_2 cos\omega_2) + \frac{bC}{2}(\sin^2\omega_1 - \sin^2\omega_2)]$$

$$a = 0{,}409 + 0{,}5016\sin(\omega_s - 60)\,;\, b = 0{,}06609 - 0{,}4767\sin(\omega_s - 60)\,;$$

$$d = sin\omega_s - \frac{\pi\omega_s}{180}cos\omega_s;\ a' = a - \frac{H_d}{H}$$

$$\omega_{sr} = \begin{cases} -|\omega_{sr}| & if\ (A > 0\ and\ B > 0)\ or\ (A \geq B) \\ +|\omega_{sr}| & otherwise \end{cases}$$

$$\omega_{ss} = \begin{cases} +|\omega_{ss}| & if\ (A > 0\ and\ B > 0)\ or\ (A \geq B) \\ -|\omega_{ss}| & otherwise \end{cases}$$

$$|\omega_{sr}| = \min\left[\omega_s, arccos\frac{\left(AB + C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}\right)}{A^2 + C^2}\right]$$

$$|\omega_{ss}| = \min\left[\omega_s, arccos\frac{\left(AB - C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}\right)}{A^2 + C^2}\right]$$

$$A = cos\beta + tan\phi\ cos\gamma\ \sin\beta$$

$$B = cos\omega_s\ cos\beta + tan\delta\ sin\beta\ cos\gamma$$

$$C = \frac{sin\beta\ sin\gamma}{cos\phi}$$

Mes	D	R
Enero	0.45	0.71
Febrero	0.52	0.76
Marzo	0.81	1.06
Abril	0.98	1.26
Mayo	1.31	1.55
Junio	1.46	1.69
Julio	1.43	1.65
Agosto	1.23	1.45
Septiembre	1.09	1.16
Octubre	0.63	0.92
Noviembre	0.45	0.78
Diciembre	0.38	0.71

Tabla 5. Parámetros D y R

Por último, resta obtener la irradiación global en una superficie inclinada de la misma definición delparámetro R que se acaba de calcular para cada mes:

$$R = \frac{H_i}{H}$$

2.3 Cálculo de la demanda

2.3.1 Consumo de agua

El Código Técnico de la Edificación (CTE), en su apartado HE-4, establece unos parámetrosde demanda ACS con el fin de determinar la proporción mínima de energía solar que debe abastecerse. Esta determinación se basa en una tabla proporcionada (Tabla 1) por el CTE. Donde aparecen los diferentes valores en la demanda en función del tipo de actividad desarrollada y tomando como referencia una temperatura de 60ºC.

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60ºC (1)

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

Tabla 6. Demanda CTE

El cálculo del consume para este caso concreto de un bloque de viviendas es inmediato, una vez conocidas el número de personas y el valor de 22 l/día por persona, sacado de la Tabla 6:

$$Q_{ACS} = 22 \frac{l}{día \times pers} \times 360\ pers = 7920\ l/día$$

2.3.2 Consumo energético

La demanda energética se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$L_{ACS} = Q_{ACS} \times \rho \times c_p \times (T_{ac} - T_{af}) \times N$$

Con →
L_{ACS} = Demanda energía térmica
ρ = Densidad del agua (1kg/l)
c_p = Calor específico del agua, supuesto constante (4190 J/kg × K)
T_{ac} = Temperatura referencia agua caliente (60 grados celsius)
T_{af} = Temperatura del agua fría establecida por la norma
N = Número de días del mes

En la ecuación se observa la dependencia de dicha demanda con el mes del año, debido a que la herramienta CHEQ4 proporciona valores tabulados de la temperatura de agua fría calculados a raíz de la irradiación global media mensual sobre superficie horizontal. De manera que se obtiene la tabla 7, en función del mes del año.

MES	Temperatura diaria media mensual de agua fria. Taf (ºC)	N (días)	Demanda energética mensual (MJ/mes)
Enero	11.7	31	49687.60
Febrero	11.7	28	44879.12
Marzo	12.7	31	48658.87
Abril	13.7	30	46093.69
Mayo	15.7	31	45572.69
Junio	17.7	30	42111.51
Julio	18.7	31	42486.50
Agosto	19.7	31	41457.77
Septiembre	18.7	30	41115.97
Octubre	16.7	31	44543.96
Noviembre	13.7	30	46093.69
Diciembre	11.7	31	49687.60

Tabla 7. Demanda energética mensual

2.4 Dimensionado básico

El dimensionado básico en un proyecto de una instalación de captadores solares permite determinar el tamaño y la capacidad adecuada de los componentes para garantizar el funcionamiento óptimo del

sistema y el cumplimiento de la contribución solar mínima establecida en el CTE-H4.

Para llevar a cabo el dimensionado básico, se deben considerar varios factores, como la ubicación geográfica del proyecto (latitud, radiación solar), la demanda de energía térmica del sistema, las características y eficiencias de los captadores solares, el volumen de acumulación, entre otros. Este proyecto abordara este primer dimensionado a través de simulaciones en la herramienta CHEQ4, donde mediante la variación de los diferentes parámetros del campo de captadores, y manteniendo constante ciertas variables, se obtendrá una buena aproximación que cumpla con cierto rango de seguridad la contribución solar mínima.

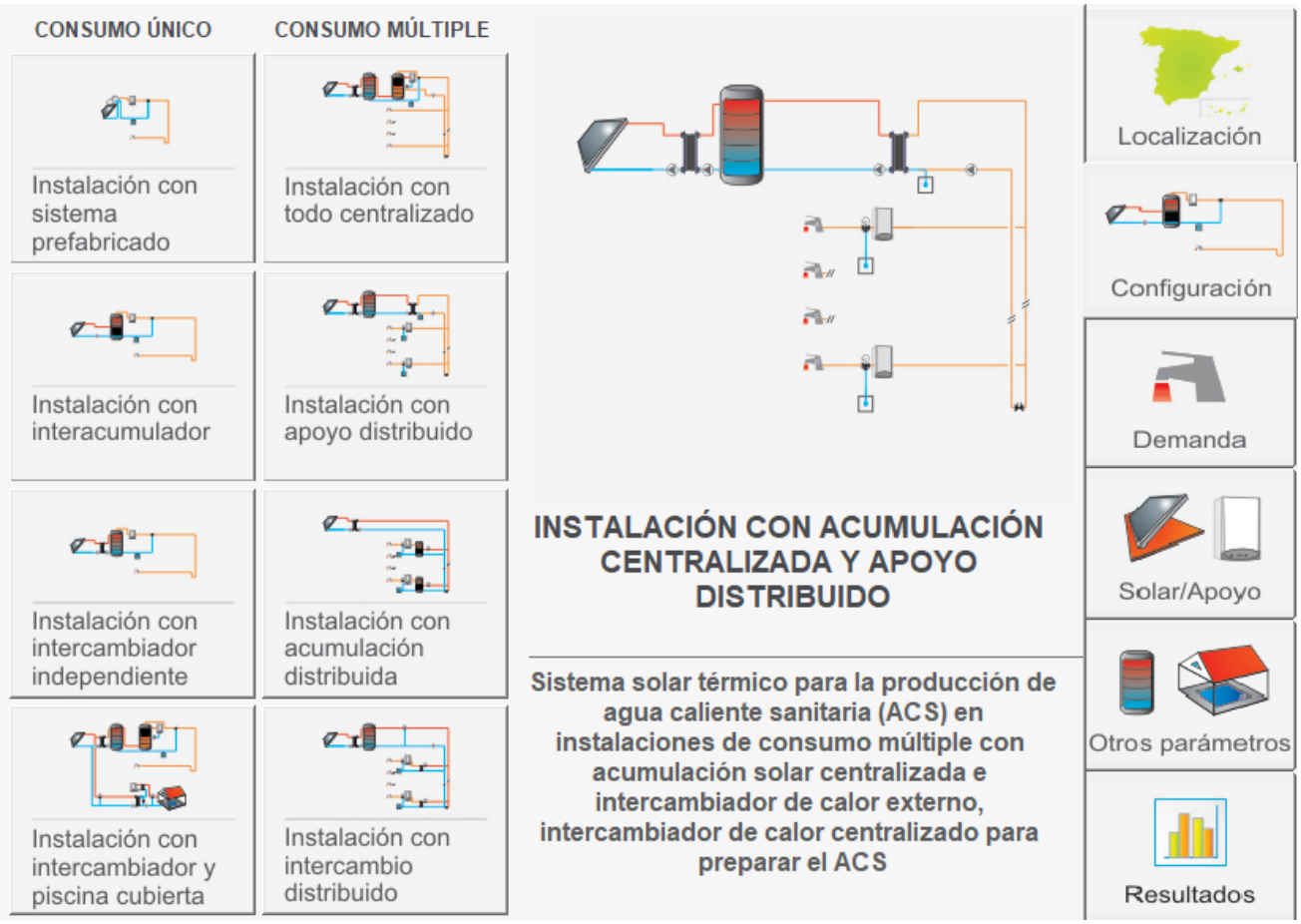


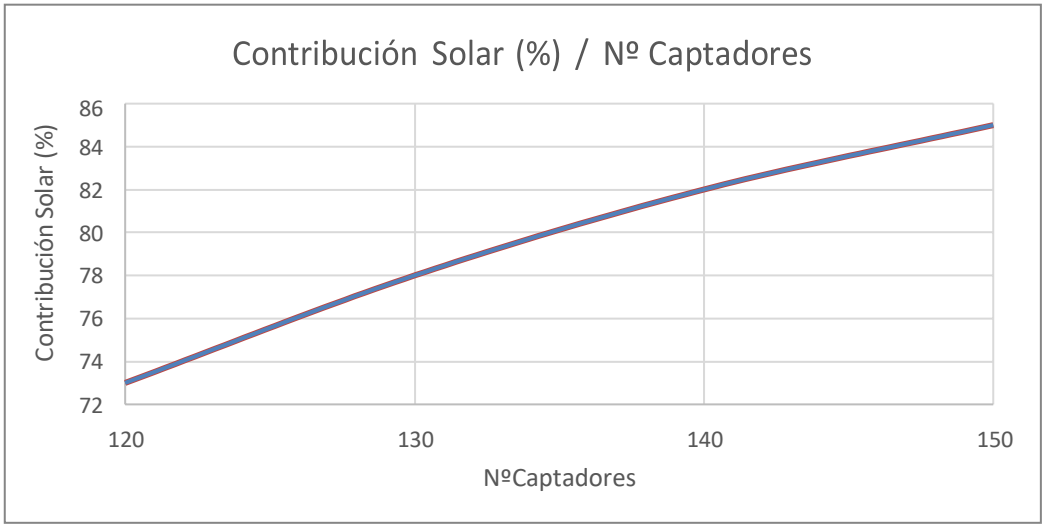
Tabla 8. Instalación elegida

En la primera simulación se tomará como valor fijo la relación volumen/área, con un valor de 75 l/m² y se dejará el número de captadores en serie en 1, se ha elegido la instalación con acumulación centralizada y apoyo distribuido como se muestra en la figura. El modus operandis será ir variando el número total de captadores (Nc) entre un rango razonable de 50 -150, y buscar el menor número posible de captadores (menor coste) que cumpla con el requisito de contribución solar mínima > 70%. En la tabla 3 aparecen los resultados para esta primera pasada por el programa CHEQ4 donde vemos que ese límite inferior de 50 captadores queda fuera completamente del objetivo de este proyecto, de manera que se procede a realizar una nueva simulación en un rango de 120-130,

proporcionando un espacio más refinado.

Numero de captadores	Superficie de captación (m2)	Volumen Total (l)	Contribucion solar (%)
50	120	9000	38
75	180	13500	53
100	240	18000	64
125	300	22500	76
150	360	27000	85

Tabla 3. Primera simulación



Para este rango de valores establecidos, el criterio del valor mínimo de contribución solar superior al 70%, se cumple en todos los casos, de manera que se buscara la solución que requiera menor número de captadores, con el objetivo de minimizar el coste de la instalación, con cierto margen de seguridad, para el caso en el que algún factor que altere el funcionamiento de la instalación, como puede ser la agrupación de captadores, se cumpla en todo momento el límite establecido por el CTE de f >70%. La solución finalmente elegida será Nc = 130.

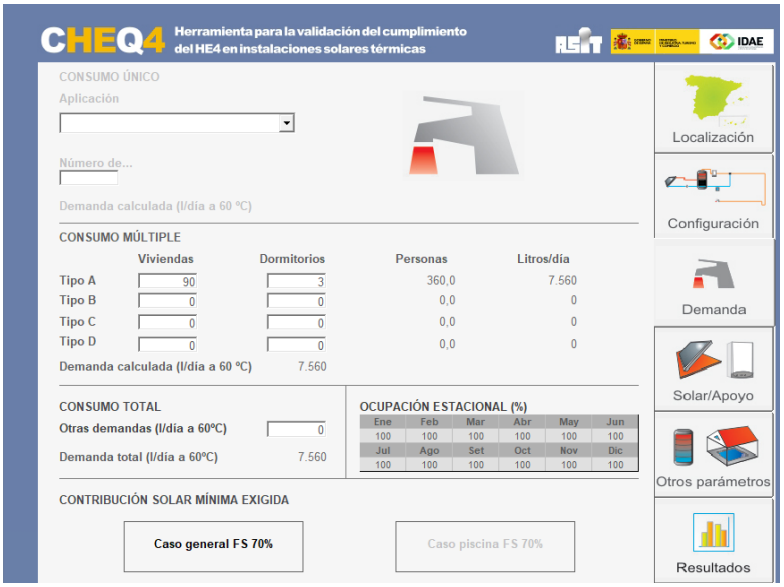
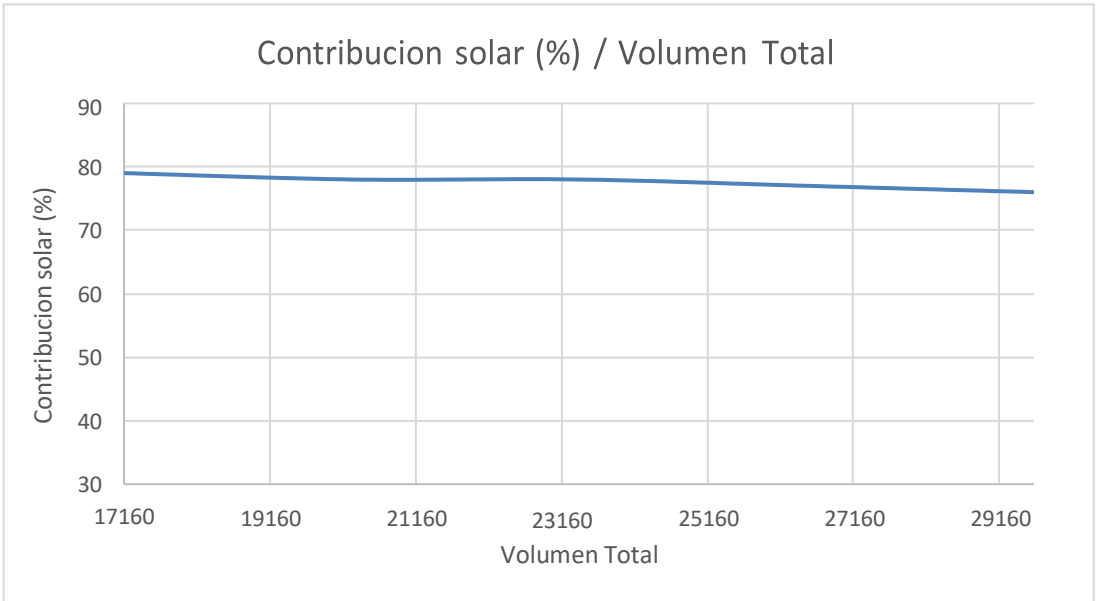


Tabla 9. Demanda

Tabla 10. Otros Parámetros

2.4.1 Volumen de acumulación

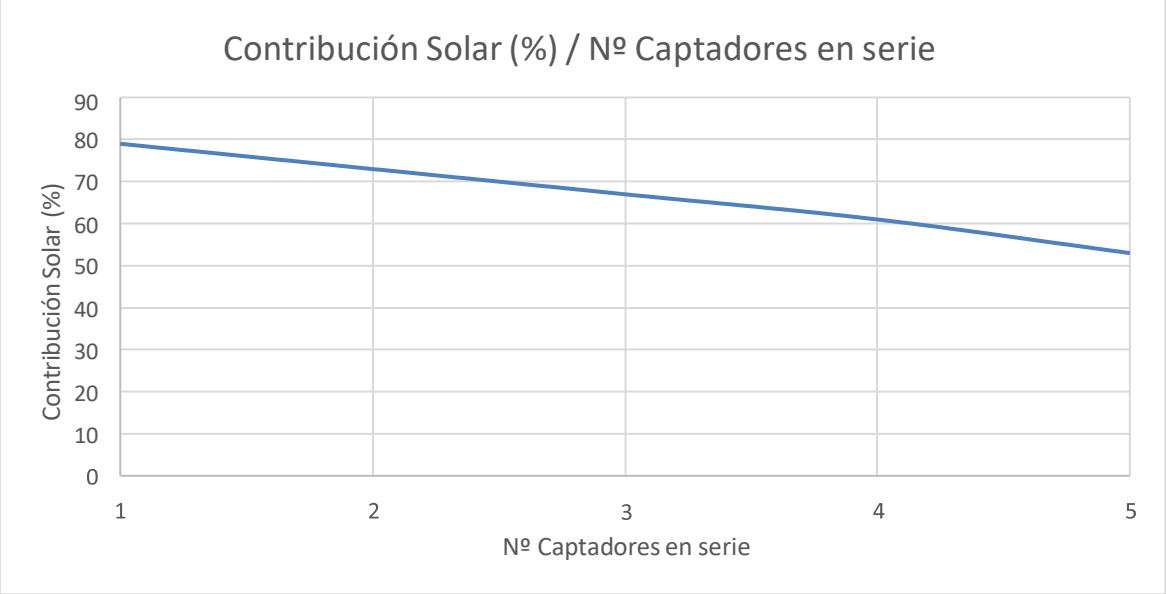
Con el número de captadores obtenido en la primera simulación, se puede pasar a calcularel volumen de acumulación de la instalación, de nuevo se mantendrá una agrupación constante de captadores en serie igual a 1.



En la figura superior, se puede observar como si bien el valor de la contribución solar, fluctúa ligeramente con el volumen de acumulación, es una variación prácticamente despreciable, de manera que se podrá elegir un volumen de acumulación cualquiera, que cumpla en todo momento la restricción de mantener la relación volumen/área entre 50 y 180. Teniendo en cuenta el clima y radiación en Sevilla, así como el espacio disponible, se estima finalmente que un volumen de acumulación de 20000 L será suficiente para la instalación solar del proyecto.

2.4.2 Captadores en serie

Solo restaría calcular, a partir de una última simulación en CHEQ4, el número de captadores en serie, que hasta ahora se ha mantenido constante e igual a 1. De nuevo se fijará como requisito una contribución solar mínima por encima del 70%, el resto de parámetros se mantiene constante, y se usaran los valores de volumen y Nc calculados previamente.



Como se puede apreciar en la figura superior, la única opción viable es una cantidad de captadores en serie igual a 1. Para la inmediata opción de 2 captadores en serie el porcentaje de contribución solar cae rápidamente, saliendo del margen de seguridad que se había establecido, de manera que establece un numero de captadores en serie igual a 1.

La figura anterior, resume las características del dimensionado básico del campo de captadores de este proyecto.

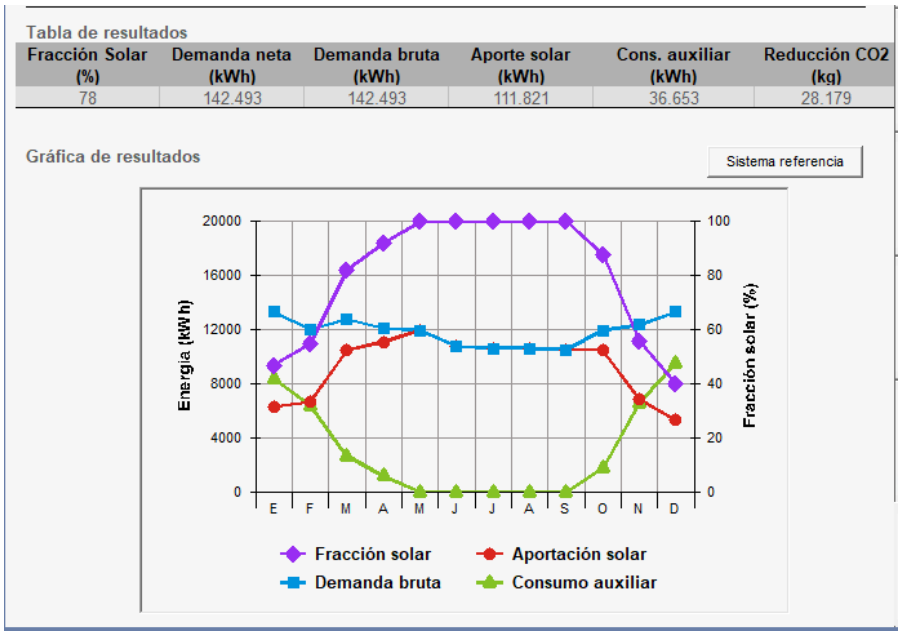


Figura 23. Tabla de resultados

2.5 Disposición de captadores

Para la disposición de los captadores se ha optado por agrupaciones de 5 captadores, dichas agrupaciones se dispondrán en 2 filas, con 13 agrupaciones de cinco, cada una de las filas, conectadas entre ellas paralelamente, como se puede observar en la ilustración 23. Las líneas naranjas corresponden a tuberías por donde circula agua caliente y las azules para la fría.

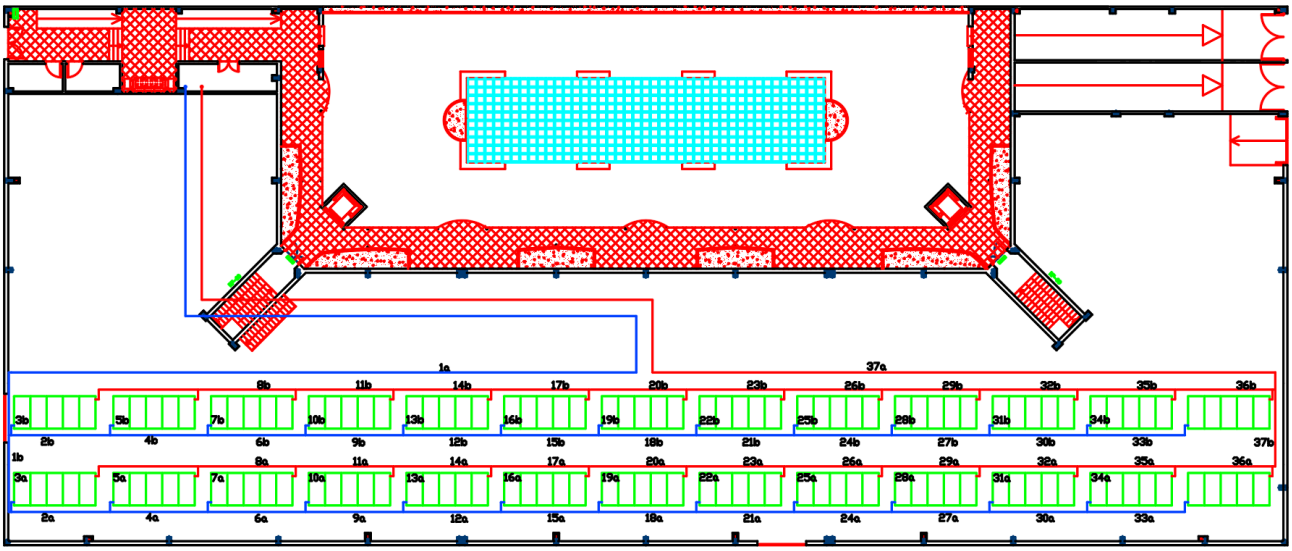


Figura 24. Disposición captadores

La separación entre filas de captadores solares en una instalación se calcula teniendo en cuenta la altura y orientación de los captadores, así como la latitud y la inclinación del lugar donde se encuentra la instalación. El objetivo es evitar que una hilera de captadores arroje sombra sobre la siguiente, lo que puede afectar negativamente el rendimiento general del sistema. Se realiza el cálculo para un instante de tiempo concreto, tomando normalmente el mediodía solar en el equinoccio de primavera u otoño.

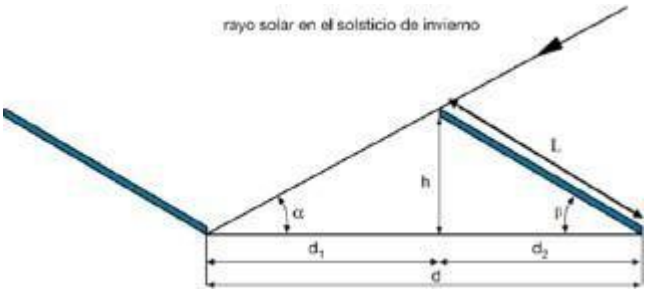


Figura 25. Distancia mínima

Se utilizarán las ecuaciones 1 y 2, para el cálculo de la separación entre filas de captadores:

$$d_1 = \frac{h}{tan(\alpha)} = \frac{h}{tan(90 - \theta_z)} \qquad (1)$$

$h = altura$
$\alpha = altura\ solar$
$\theta_z = ángulo\ azimutal\ del\ sol$

$$h = L \times sen(\beta) \qquad (2)$$

$L = Longitud\ captador\ solar$
$\beta = inclinación\ captador$

La ecuación 1 pretende garantizar al menos 4 horas sin sombra entorno al medio día, el día del solsticio de invierno, el día más desfavorable del año.

$$sin(\alpha) = cos(\varphi) \times cos(\delta) \times cos(w) + sin(\varphi) \times sin(\delta)$$

$Con:\ -\varphi = 37°$
$-\delta = -23,5°$
$-w = 15°$

Sabiendo que la inclinación de los captadores es 40º, la longitud L=2,4m y h=1,54. Se obtiene como resultado una d1=2,72m

2.6 Dimensionado del intercambiador de calor

Para la transferencia de calor entre los circuitos, es necesario un intercambiador de calor. Para su correcta elección se tendrá en cuenta el valor impuesto por el CTE sección HE4, de la relación entre calor intercambiado y área total de captación, valor que debe superar los 500 W/ m² x A (m²).

Con este requisito y los parámetros característicos del campo de captadores obtenidos de las simulaciones en la herramienta CHEQ4, es posible determinar el salto térmico entre los fluidos, factor determinante para elegir un modelo u otro de intercambiador, observando los valores de fabricantes, así como la potencia intercambiada.

En primer lugar, se dimensiona el intercambiador que conecta circuitos primario y secundario, para la realización de los cálculos es necesario obtener en primera instancia, el caudal que circula por ambos circuitos, se ha tomado como base de cálculo el caudal específico de ensayo de los captadores (G) para la obtención del caudal en el primario (MB), en aras de maximizar el rendimiento en el intercambiador y siendo los fluidos de los circuitos secundarios y primario iguales, el caudal del

secundario se toma igual al del primario.

$$Q_{int} = M_B \times C_p \times \Delta T \;\Rightarrow\; \Delta T = \frac{Q_{int}}{M_B \times C_p}$$

$$- Q_{int} = 500 \left[\frac{W}{m^2}\right] \times A_{captación} = 156000\ W$$

$$- C_p = 4183 \left[\frac{J}{kg \times ℃}\right]$$

$$- A_{captación} = A_{captador} \times N_{captadores} = 2,4 \times 130 = 312\ [m^2]$$

$$M_B = \frac{G \times A_{captación}}{N_{c.serie}} \quad (G = Q_{ens} \times \rho_{agua}) \;\Rightarrow\; M_B = \frac{72\ \frac{l}{h \times m^2} \times 10^{-3} \frac{m^3}{l} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 312\ m^2}{1}$$

$$- M_B = 22464\ \frac{kg}{h} \times \frac{1\ h}{3600\ s} = 6,24 \left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$M_B = M_{secundario}$$

$$\Delta T = \frac{156000}{6,24 \times 4138} \simeq 6$$

Se elegirá, por tanto, intercambiador capaz de transferir el calor calculado y cuyo salto térmico máximo sea superior a 6 ºC. Se escoge el modelo Aldin S3/60 del fabricante ALDINGÁS, que cumple con sendas condiciones, con un salto térmico máximo de 15 ºC y capaz de transferir 165 kW.

- Calor transferido: 156 kW
- Caudal circuito primario y secundario: 6,24 kg/s
- Salto temperatura fluido: 6 ºC
- Pérdida de carga: 34,3 kPa
- Superficie intercambio: 2,9 m2

Para el caso del intercambiador que transfiere calor entre el circuito terciario y el circuito de consumo, el cálculo del caudal se basa en establecer el caudal simultaneo del edificio y empleando el mismo criterio que en el caso anterior se tomaran caudales iguales para ambos circuitos.

Se ha hecho uso de la norma UNE 149201, titulada “Abastecimiento de agua. Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios”, para el cálculo del caudal. Paso, previo es necesario calcular el caudal instalado de cada vivienda, para ello se hará uso de la tabla 8 de la sección HS4 del CTE, que asigna un caudal mínimo para cada tipo de aparato instalado en el interior de la vivienda, en el caso de esta instalación, se contempla lavabo, ducha y fregadero. A continuación, se muestran los cálculos realizados:

$$M_t = M_i \times N = 45 \left[\frac{l}{s}\right]$$

M_t : *Caudal total instalado del edificio* (l/s)
Mi : *Caudal instalado en cada vivienda* (l/s)
N : *Número de viviendas* (90)

$$M_i = M_{Lavabo} + M_{Ducha} + M_{Lavadoras} + M_{Fregadero} = 0,065 + 0,1 + 0,15 + 0,1 = 0,415 \left[\frac{l}{s}\right]$$

$$M_{maxE} = 1,7 \times (M_i)^{0,21} - 0,7 \simeq 3,08 \left[\frac{l}{s}\right] \times 3600 \left[\frac{s}{h}\right] \simeq 11092,13 \left[\frac{l}{h}\right]$$

M_{maxE} : *Caudal simultáneo del edificio* (l/s)

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm³/s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm³/s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Tabla 11. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato

Se estima un salto de temperatura de unos 10ºC para mantener la temperatura del agua para consumo a unos 40ºC, a partir de este dato se calcula la potencia del intercambiador:

$$Q_{int} = M_{maxE} \times C_p \times \Delta T = 3,08 \left[\frac{kg}{s}\right] \times 4183 \left[\frac{J}{kg \times K}\right] \times 10 \times \frac{1J}{1000kJ} \simeq 128,84\ kW$$

El intercambiador elegido pertenece a la marca Aldingás, modelo Aldin S3/50 capaz de transmitir

una potencia de 145 kW y un salto máximo de 15ºC.

- Calor transferido: 128,84 kW
- Caudal circuito primario y secundario: 3,08 kg/s
- Salto temperatura fluido: 10 ºC
- Pérdida de carga: 26 kPa
- Superficie intercambio: 2,4 m2

2.7 Dimensionado red de tuberías.

A continuación, se procede al cálculo de la red de tuberías de los diferentes tramos de la instalación, para ello se calcula el diámetro y la perdida de carga en cada tramo, tanto del circuito primario como del secundario. Obteniéndose valores representativos de la perdida de carga más desfavorable, así como de un posible desequilibrio en cada circuito en paralelo. Los captadores se han dispuesto en agrupaciones de 5, repartidos en la cubierta del edificioen 2 filas.

Basado en el registro histórico de la temperatura de la localidad, se prescinde del uso de anticongelante en el circuito, cuyo fluido de trabajo es agua. La protección frente a posible congelación en captadores se establece a través del sistema de control que accionara las bombas de circulación del circuito primario en caso de que sea necesario.

a) Caudal del circuito primario y secundario

Los resultados que arrojan los cálculos en el apartado anterior, establecen un caudal para el circuito primario de 6,24 kg/s, se tomara el mismo valor para el caudal correspondiente al circuito secundario. Sendos caudales se dividirán en función del número de captadores en cada fila, en el caso de esta instalación, captadores se reparten a partes iguales en las dos filas, de manera que el reparto será equivalente al 50% para cada fila.

b) Pérdida de carga en los captadores

Para el cálculo de la perdida de carga en captadores, es necesario recurrir al catálogo del fabricante, donde entre la información facilitada, aparece la gráfica representada en la figura 20, que permite calcular la perdida de carga en función del caudal por el captador solar.

Para ello, se calcula en primer lugar el caudal que pasa por cada captador con el siguiente calculo:

$$M_c = G \times A_c = 72 \times \frac{kg}{h \times m^2} \times \frac{1\,h}{60\,min} \times 2,4\,m^2 = 2,88\,\frac{kg}{min}$$

Entrando en la gráfica se obtiene la perdida de carga en cada captador:

$$\Delta P_c = 3,2\,mbar = 0,32\,kPa$$

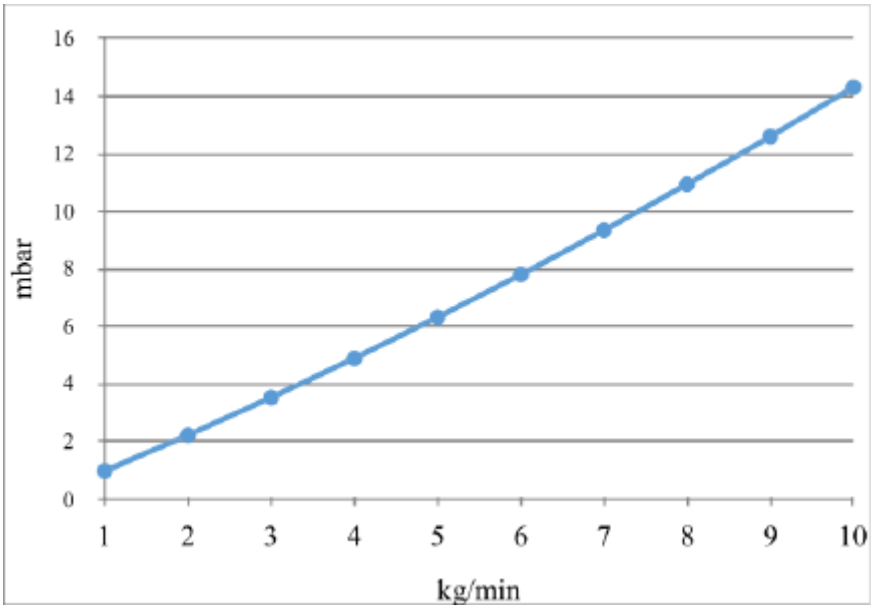


Figura 26. Pérdida de presión

c) Cálculo de la red de tuberías

Las tuberías a instalar serán de cobre, con un grosor variable, diseñadas para resistir las condiciones extremas de operación del sistema.

No se ha evaluado la viabilidad de utilizar materiales plásticos, ya que no son apropiados para las altas temperaturas que podrían ser alcanzadas en este contexto.
En el proceso de diseñar las tuberías, se tomarán en consideración las directrices del pliego de condiciones técnicas de baja temperatura proporcionado por el IDAE. Las velocidades máximas recomendadas para áreas habitadas serán de 2 m/s, mientras que para tramos al aire libre o zonas desocupadas se permitirá un máximo de 3 m/s. La pérdida de presión por metro de tubería no excederá los 392 KPa.

La instalación se divide en 3 circuitos, primario, secundario y terciario. El circuito primario comprende la cubierta con el campo de captadores, y el recorrido hasta la sala de máquinas, terminando en el intercambiador de calor y retorno. El circuito secundario se encuentra íntegramente en la sala de máquinas, y por último el terciario que sale de sala de máquinasy realiza la distribución para cada una de las viviendas, de las 6 plantas del bloque. Solo se representa un hemisferio del bloque y de este mismo modo solo se realizarán los cálculos para una de las zonas ya que al ser simétrica la distribución, llevan asociada la misma perdida de carga.

Se ha realizado una división, en tramos, en función del caudal circulante, dichos tramos aparecen representados en las figuras 27.

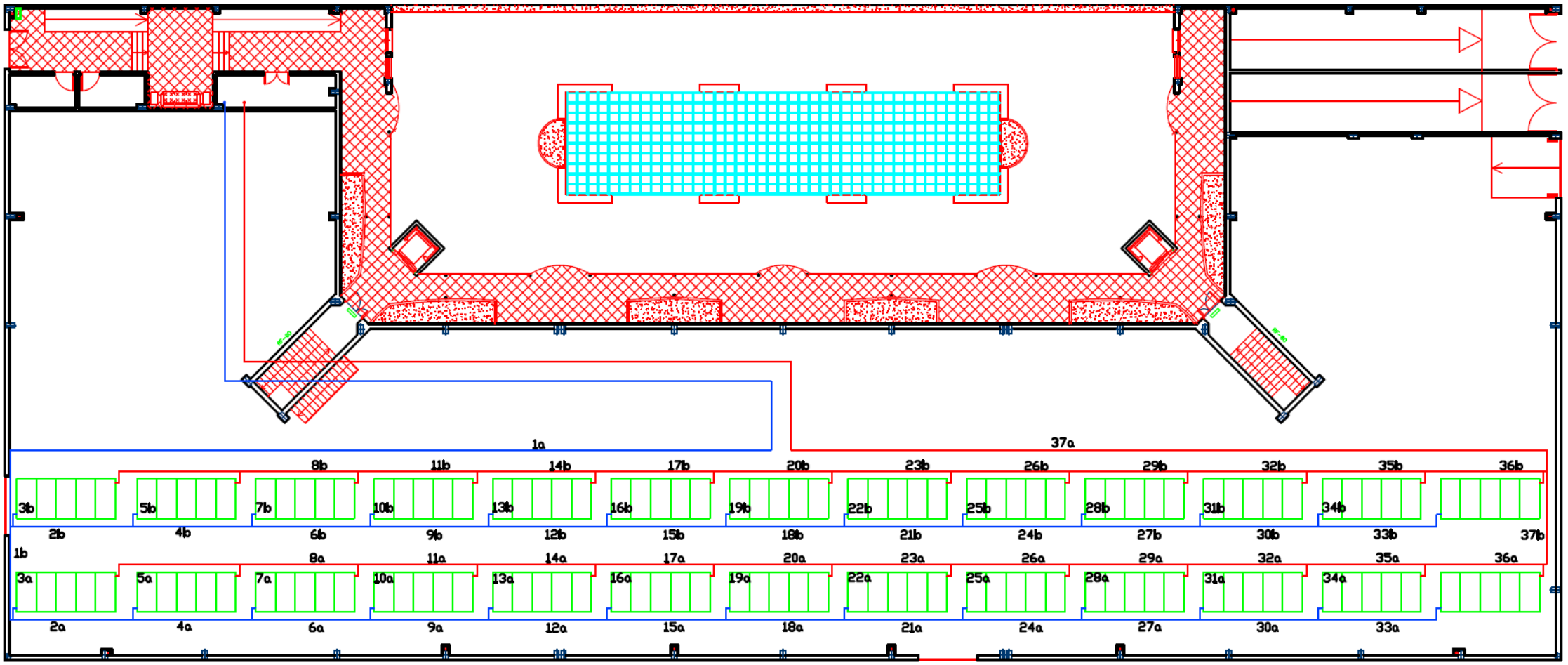


Figura 27. Sala de máquinas

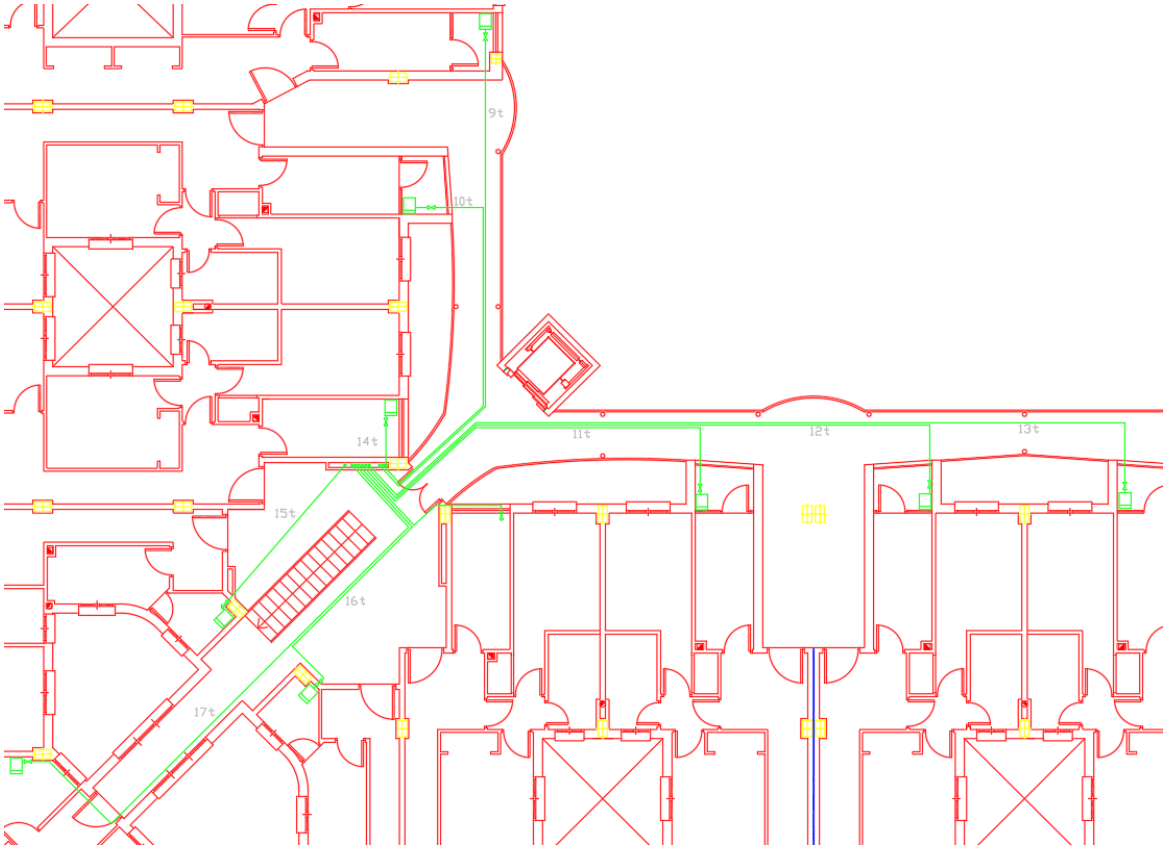


Figura 28. Distribución planta

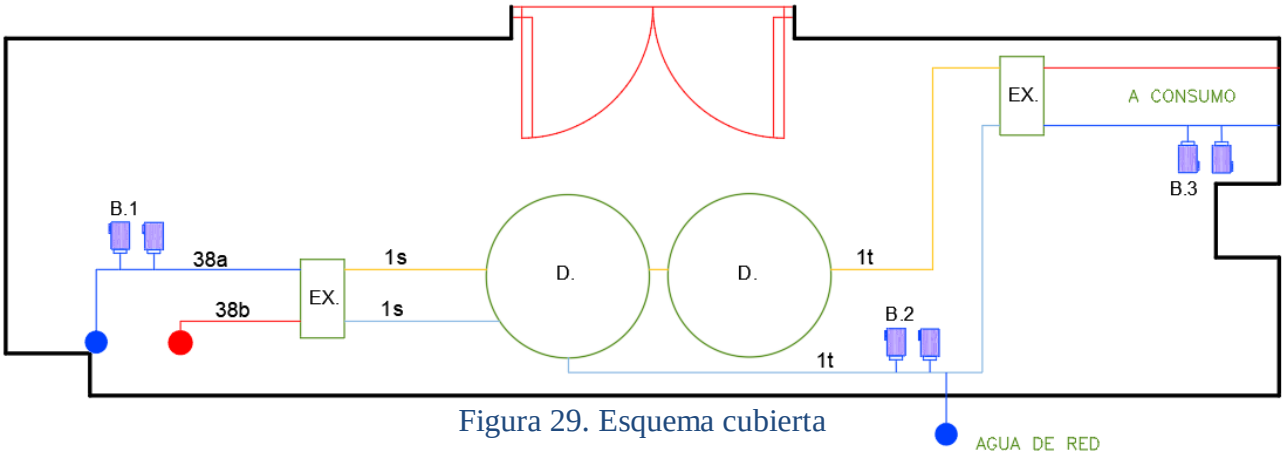


Figura 29. Esquema cubierta

El algoritmo para calcular la perdida de carga en la red de tuberías, sigue una serie de etapas, en primer lugar, basado en la ecuación de continuidad de la materia, se calculan los caudales de los diferentes tramos, partiendo de los caudales para cada uno de los circuitos primario, secundario y terciario, calculados en el apartado de dimensionamiento de los intercambiadores. El diámetro correspondiente a los diferentes tramos esta normalizado en función del caudal limite y las restricciones en velocidad y perdida de carga, en la tabla 29 aparecen representados dichos valores.

D (")	D(mm)	V_400Pa (l/h)	V_1.2m/s (l/h)	Caudal Lim
1/4	6.35	42	137	**42**
3/8	9.53	128	308	**128**
1/2	12.70	281	547	**281**
3/4	19.05	840	1231	**840**
1	25.40	1820	2189	**1820**
1-1/4	31.75	3311	3420	**3311**
1-1/2	38.10	5391	4925	**4925**
2	50.80	11612	8756	**8756**
2-1/2	63.50	21021	13681	**13681**
3	76.20	34105	19701	**19701**
3-1/2	88.90	51313	26815	**26815**
4	101.60	73066	35024	**35024**
5	127.00	131765	54724	**54724**

Tabla 12. Diámetros normalizados

Una vez obtenido los diámetros, se puede calcular la velocidad del fluido, que servirá para estimar la perdida de carga lineal, de cada tramo, gracias a la ecuación de flamant.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

$-\ v:\ velocidad\ \left[\frac{m}{s}\right]$

$-\ Q:\ caudal\ volumétrico\ \left[\frac{m^3}{s}\right]$

$-\ A:\ área\ transversal\ [m^2]$

$-\ D:\ diámetro\ [m]$

La ecuación de flamant introduce una constante, cuyo valor dependerá del material de la tubería, la tabla 9 muestra los diferentes valores, es importante que los valores vienen dados en m.c.a de manera que se harán las conversiones pertinentes para resultados en Pa/m.

$$J\left(\frac{mm.\,c.\,a}{m}\right) = m \times \frac{v^{1.75}}{D^{1.25}}$$

$$\downarrow$$

$$J\left(\frac{Pa}{m}\right) = 570 \times 10^{-3} \times 9.806 \times \frac{v^{1.75}}{D^{1.25}}$$

VALORES DE m PARA TUBERIAS NUEVAS

Fundición	740×10^{-6}
Acero	700×10^{-6}
Cobre	570×10^{-6}
PVC	560×10^{-6}
Material idealmente liso	509×10^{-6}

Tabla 13. Valores de m

Todos los resultados, se representan en las tablas 10-14.

- **Tramos circuito primario en cubierta**

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diametro (mm)	velocidad (m/s)	J (Pa/m)
1a	32.79	22464.00	88.90	1.005	116.22
1b	4.87	11232.00	63.50	0.985	170.84
2a	6.00	10368.00	63.50	0.909	148.51
2b	6.00	10368.00	63.50	0.909	148.51
3a	14.20	864.00	25.40	0.474	149.08
3b	14.20	864.00	25.40	0.474	149.08
4a	6.00	9504.00	63.50	0.834	127.54
4b	6.00	9504.00	63.50	0.834	127.54
5a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
5b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
6a	6.00	8640.00	50.80	1.184	311.55
6b	6.00	8640.00	50.80	1.184	311.55
7a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
7b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
8a	6.00	1728.00	25.40	0.947	501.44
8b	6.00	1728.00	25.40	0.947	501.44
9a	6.00	7776.00	50.80	1.066	259.09
9b	6.00	7776.00	50.80	1.066	259.09
10a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
10b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
11a	6.00	2592.00	31.75	0.909	353.23
11b	6.00	2592.00	31.75	0.909	353.23
12a	6.00	6912.00	50.80	0.947	210.83
12b	6.00	6912.00	50.80	0.947	210.83
13a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
13b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
14a	6.00	3456.00	38.10	0.842	245.80
14b	6.00	3456.00	38.10	0.842	245.80
15a	6.00	6048.00	50.80	0.829	166.89
15b	6.00	6048.00	50.80	0.829	166.89
16a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08

Tabla 14. Tramos circuito primario

.

16b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
17a	6.00	4320.00	38.10	1.053	363.23
17b	6.00	4320.00	38.10	1.053	363.23
18a	6.00	5184.00	50.80	0.710	127.43
18b	6.00	5184.00	50.80	0.710	127.43
19a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
19b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
20a	6.00	5184.00	50.80	0.710	127.43
20b	6.00	5184.00	50.80	0.710	127.43
21a	6.00	4320.00	38.10	1.053	363.23
21b	6.00	4320.00	38.10	1.053	363.23
22a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
22b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
23a	6.00	6048.00	50.80	0.829	166.89
23b	6.00	6048.00	50.80	0.829	166.89
24a	6.00	3456.00	38.10	0.842	245.80
24b	6.00	3456.00	38.10	0.842	245.80
25a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
25b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
26a	6.00	6912.00	50.80	0.947	210.83
26b	6.00	6912.00	50.80	0.947	210.83
27a	6.00	2592.00	31.75	0.909	353.23
27b	6.00	2592.00	31.75	0.909	353.23
28a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
28b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
29a	6.00	7776.00	50.80	1.066	259.09
29b	6.00	7776.00	50.80	1.066	259.09
30a	6.00	1728.00	25.40	0.947	501.44
30b	6.00	1728.00	25.40	0.947	501.44
31a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
31b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
32a	6.00	8640.00	50.80	1.184	311.55
32b	6.00	8640.00	50.80	1.184	311.55
33a	14.20	864.00	25.40	0.474	149.08
33b	14.20	864.00	25.40	0.474	149.08
34a	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
34b	8.20	864.00	25.40	0.474	149.08
35a	6.00	9504.00	63.50	0.834	127.54
35b	6.00	9504.00	63.50	0.834	127.54
36a	6.00	10368.00	63.50	0.909	148.51
36b	6.00	10368.00	63.50	0.909	148.51
37b	4.87	11232.00	63.50	0.985	170.84
37a	92.14	22464.00	88.90	1.005	116.22

Tramos circuito primario continuación

- **Tramos circuito primario de cubierta hasta sala de máquinas**

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diametro (mm)	velocidad (m/s)	J (Pa/m)
38a	20.00	22464.00	88.90	1.005	116.22
38b	20.00	22464.00	88.90	1.005	116.22

Tabla 15. Tramos circuito primario hasta sala de máquinas

- **Circuito secundario**

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diametro (mm)	velocidad (m/s)	J (Pa/m)
1s	12.67	22464.00	88.90	1.005	116.22

Tabla 16. Tramo circuito secundario

- **Circuito terciario**

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diametro (mm)	velocidad (m/s)	J (Pa/m)
1t	9.34	11092.13	63.50	0.973	167.14

Tabla 17. Tramo circuito terciario

- **Circuito de distribución planta baja**

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diametro (mm)	velocidad (m/s)	J (Pa/m)
1c	3.18	5546.00	50.80	0.760	143.41
2c	45.23	5546.00	50.80	0.760	143.41
3c	3.33	5546.00	50.80	0.760	143.41
4c	3.33	4621.50	63.50	0.405	36.11
5c	3.33	3697.20	50.80	0.507	70.53
6c	3.33	2772.90	50.80	0.380	42.63
7c	3.33	1848.60	38.10	0.450	82.23
8c	3.33	924.30	31.75	0.324	58.13

Tabla 18. Distribución planta baja

- **Circuito distribución planta tipo**

Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/h)	Diametro (mm)	velocidad (m/s)	J (Pa/m)
9c	14.35	102.70	9.53	0.400	377.60
10c	11.11	102.70	9.53	0.400	377.60
11c	12.29	102.70	9.53	0.400	377.60
12c	18.51	102.70	9.53	0.400	377.60
13c	23.76	102.70	9.53	0.400	377.60
14c	1.35	102.70	9.53	0.400	377.60
15c	5.20	102.70	9.53	0.400	377.60
16c	8.55	102.70	9.53	0.400	377.60
17c	17.00	102.70	9.53	0.400	377.60

Tabla 19. Distribución planta tipo

2.8 Dimensionado bomba de circulación

A partir de los caudales máximos registrados en los circuitos primario, secundario, terciario y distribución, se procede a la elección de las bombas de circulación correspondientes a dichos circuitos. En la selección y dimensionamiento de estas bombas, se ha dado importancia a las pautas establecidas en versiones previas del Código Técnico de la Edificación, específicamente en lo que respecta a instalaciones con áreas de captación que superan los 50 m2, tal como es el caso presente. Según esta normativa, se requiere la instalación de dos bombas idénticas en paralelo, con una de ellas funcionando como respaldo. Este criterio ha sido aplicado a todos los circuitos de la instalación.

El cálculo de la pérdida de presión ocasionada por los accesorios de las tuberías implica la determinación de su longitud equivalente, como se detalla en la Tabla 15. Esta longitud equivalente se establece en función del tamaño de la tubería y el tipo de accesorio y viene tabulada en las tablas de la XXX. Al sumar la longitud de la tubería y la longitud equivalente total de los accesorios en cada tramo, se obtiene la longitud total del tramo en cuestión. Al multiplicar esta longitud por la pérdida de presión lineal previamente calculada, se determina la pérdida de presión en cada uno de los tramos. Además, se debe tener en cuenta la pérdida de presión asociada a los equipos, como captadores solares e intercambiadores de calor, que puedan encontrarse en el tramo.

Diámetro nominal (")	Codo 90º	Curva 90º	Curva 45º	Codo doble 180º	Curva doble 180º	T en ramas alineadas	T en rama derivada	Válvula esférica	Válvula de compuerta	Válvula en ángulo	Vávula de retención
1/4	0.07	0.07	0.04	0.07	0.07	0.05	0.17	2.13		0.68	0.33
3/8	0.12	0.12	0.06	0.12	0.12	0.08	0.28	3.53		1.12	0.55
1/2	0.17	0.16	0.09	0.17	0.17	0.11	0.40	5.01	0.17	1.59	0.80
3/4	0.29	0.26	0.15	0.29	0.27	0.17	0.66	8.05	0.27	2.56	1.34
1	0.40	0.36	0.21	0.40	0.37	0.24	0.92	11.11	0.37	3.52	1.93
1-1/4	0.52	0.46	0.27	0.52	0.47	0.31	1.19	14.09	0.46	4.47	2.55
1-1/2	0.64	0.56	0.33	0.64	0.57	0.37	1.45	16.96	0.55	5.38	3.20
2	0.87	0.74	0.46	0.87	0.74	0.49	1.98	22.27	0.70	7.06	4.57
2-1/2	1.10	0.89	0.59	1.10	0.90	0.59	2.48	26.95	0.83	8.56	6.01
3	1.32	1.03	0.72	1.32	1.03	0.68	2.96	31.01	0.91	9.86	7.52
3-1/2	1.53	1.14	0.85	1.53	1.14	0.76	3.40	34.48	0.97	10.99	9.07
4	1.73	1.24	0.97	1.73	1.22	0.83	3.83	37.46	1.00	11.99	10.68
5	2.10	1.38	1.22	2.10	1.35	0.92	4.60	42.32	0.98	13.71	14.00

Tabla 20. Accesorios

Tramo	Longitud (m)	Accesorios	Longitud equivalente (m)	ΔPtr (kPa)	ΔPe (kPa)	ΔPtot (kPa)
1a	32.79	4 codos	6.12	4.52		4.52
1b	4.87	1 codo	1.10	1.02		1.02
2a	6.00	T alineada	0.59	0.98		0.98
2b	6.00	T alineada	0.59	0.98		0.98
3a	14.20	2 válvulas de corte, 3 codos, 1 T derivada y una T alineada	3.10	2.58	0.320	2.90
3b	14.20	2 válvulas de corte, 3 codos, 1 T derivada y una T alineada	3.10	2.58	0.320	2.90
4a	6.00	T alineada	0.59	0.84		0.84
4b	6.00	T alineada	0.59	0.84		0.84
5a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
5b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
6a	6.00	T alineada	0.49	2.02		2.02
6b	6.00	T alineada	0.49	2.02		2.02
7a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
7b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
8a	6.00	T alineada	0.24	3.13		3.13
8b	6.00	T alineada	0.24	3.13		3.13
9a	6.00	T alineada	0.49	1.68		1.68
9b	6.00	T alineada	0.49	1.68		1.68
10a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
10b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
11a	6.00	T alineada	0.31	2.23		2.23
11b	6.00	T alineada	0.31	2.23		2.23
12a	6.00	T alineada	0.49	1.37		1.37
12b	6.00	T alineada	0.49	1.37		1.37
13a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
13b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
14a	6.00	T alineada	0.37	1.57		1.57
14b	6.00	T alineada	0.37	1.57		1.57
15a	6.00	T alineada	0.49	1.08		1.08
15b	6.00	T alineada	0.49	1.08		1.08
16a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
16b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
17a	6.00	T alineada	0.37	2.31		2.31
17b	6.00	T alineada	0.37	2.31		2.31
18a	6.00	T alineada	0.49	0.83		0.83
18b	6.00	T alineada	0.49	0.83		0.83
19a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
19b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
20a	6.00	T alineada	0.49	0.83		0.83
20b	6.00	T alineada	0.49	0.83		0.83
21a	6.00	T alineada	0.37	2.31		2.31
21b	6.00	T alineada	0.37	2.31		2.31
22a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
22b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
23a	6.00	T alineada	0.49	1.08		1.08
23b	6.00	T alineada	0.49	1.08		1.08
24a	6.00	T alineada	0.37	1.57		1.57
24b	6.00	T alineada	0.37	1.57		1.57
25a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05

25b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
26a	6.00	T alineada	0.49	1.37		1.37
26b	6.00	T alineada	0.49	1.37		1.37
27a	6.00	T alineada	0.31	2.23		2.23
27b	6.00	T alineada	0.31	2.23		2.23
28a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
28b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
29a	6.00	T alineada	0.49	1.68		1.68
29b	6.00	T alineada	0.49	1.68		1.68
30a	6.00	T alineada	0.24	3.13		3.13
30b	6.00	T alineada	0.24	3.13		3.13
31a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
31b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
32a	6.00	T alineada	0.49	2.02		2.02
32b	6.00	T alineada	0.49	2.02		2.02
33a	14.20	2 válvulas de corte, 3 codos, 1 T derivada y una T alineada	3.34	2.61	0.320	2.93
33b	14.20	2 válvulas de corte, 3 codos, 1 T derivada y una T alineada	3.34	2.61	0.320	2.93
34a	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
34b	8.20	2 válvulas de corte, 2 codos y 2 T derivadas	3.38	1.73	0.320	2.05
35a	6.00	T alineada	0.59	0.84		0.84
35b	6.00	T alineada	0.59	0.84		0.84
36a	6.00	T alineada	0.59	0.98		0.98
36b	6.00	T alineada	0.59	0.98		0.98
37b	4.87	1 codo	1.10	1.02		1.02
37a	92.14	4 codos	6.12	11.42		11.42

Tabla 21. Pérdidas de carga primario

Tramo	Longitud (m)	Accesorios	Longitud equivalente (m)	ΔPtr (kPa)	ΔPe (kPa)	ΔPtot (kPa)
38a	20.00	2 T derivada, 10 codos, 4 válvulas de corte, 1 válvula retención, 1 filtro	36.05	6.51	34.300	40.81
38b	20.00	4 codos, 1 válvula de corte	7.09	3.15		3.15

Tabla 23. Pérdidas de carga primario cubierta a sala de máquinas

Tramo	Longitud (m)	Accesorios	Longitud equivalente (m)	ΔPtr (kPa)	ΔPe (kPa)	ΔPtot (kPa)
1s	12.67	2 T derivada, 6 codos, 4 válvulas de corte, 1 válvula retención, 1 filtro	30.00	4.96	34.30	39.26

Tabla 22. Pérdidas de carga secundario

Tramo	Longitud (m)	Accesorios	Longitud equivalente (m)	ΔPtr (kPa)	ΔPe (kPa)	ΔPtot (kPa)
1t	9.34	1 T alineada, 5 codos, 4 válvulas de corte, 1 válvula retención, 1 filtro	17.00	4.40	33.61	38.01

Tabla 24. Pérdidas de carga circuito terciario

Tramo	Longitud (m)	Accesorios	Longitud equivalente (m)	ΔPe (kPa)	ΔPtot (kPa)
1c	23.30	1 codo, 1 válvula de corte	1.93	33.61	3.62
2c	45.23	2 codos, 1 válvula de corte	3.03	0.00	6.92
3c	3.33	T alineada	0.68	0.00	0.58
4c	3.33	T alineada	0.68	0.00	0.14
5c	3.33	T alineada	0.49	0.00	0.27
6c	3.33	T alineada	0.49	0.00	0.16
7c	3.33	T alineada	0.37	0.00	0.30
8c	3.33	1 codo	0.52	0.00	0.22

Tabla 25. Pérdida de carga Distribución planta baja

Tramo	Longitud (m)	Accesorios	Longitud equivalente (m)	ΔPe (kPa)	ΔPtot (kPa)
9c	14.35	2 codos, 2 válvulas de corte	0.68	0.00	5.68
10c	11.11	3 codos, 2 válvulas de corte	0.85	0.00	4.52
11c	12.29	3 codos, 2 válvulas de corte	0.85	0.00	4.96
12c	18.51	3 codos, 2 válvulas de corte	0.85	0.00	7.31
13c	23.76	3 codos, 2 válvulas de corte	0.85	0.00	9.29
14c	1.35	2 válvulas de corte	0.34	0.00	0.64
15c	5.20	1 codos, 2 válvulas de corte	0.51	0.00	2.16
16c	8.55	3 codos, 2 válvulas de corte	0.85	0.00	3.55
17c	17.00	3 codos, 2 válvulas de corte	0.85	0.00	6.74

Tabla 26.Pérdidas de carga Distribución planta tipo

A partir de las pérdidas totales de presión en cada tramo (Tablas 18-23), se procede a calcular la pérdida de presión en paralelo, para cada uno de los circuitos.

El circuito primario se compone de 26 circuitos en paralelo. La cubierta ha sido diseñada con un sistema de retorno invertido, lo que garantiza un equilibrio en los circuitos y permite el cálculo de la pérdida de presión en uno de ellos como representativo. Se deben considerar las pérdidas de presión en los tramos de la cubierta y en los tramos que van desde el intercambiador de calor en la sala de máquinas hasta el punto de separación de la red de tuberías que se dirigen a la cubierta, además del retorno hasta el intercambiador de calor en la sala de máquinas.

En la Tabla 24 se presenta un resumen de las pérdidas de presión máximas en el circuito correspondiente al circuito primario. Se destaca que la pérdida de presión más significativa es de 80.84 kPa.

El circuito secundario es único, y su pérdida de presión más desfavorable se sitúa en 39.26 kPa, tal como se detalla en la Tabla 25

El circuito terciario, también único, y presenta una pérdida de presión máxima que asciende a 38.01 kPa, la Tabla 21 recoge este resultado.

Por último, en el circuito de distribución, se ha tomado el recorrido hasta el grupo de apoyo, que presenta la máxima pérdida de carga, consiste en el tramo que llega hasta la última planta y llega a la vivienda cuyo tramo de entrada es el 13c.

Tramo	ΔPtot (kPa)
1a, 3b, 8b, 11b, 14b, 17b, 20b, 23b, 26b, 29b, 32b, 35b, 36b, 37a, 38a, 38b	80.84

Tabla 27. Resumen primario

Tramo	ΔPtot (kPa)
1s	39.26

Tabla 28. Resumen secundario

Tramo	ΔPtot (kPa)
1t	38.01

Tabla 29. Resumen terciario

Tramo	ΔPtot (kPa)
1c, 2c, 3c, 4c, 5c, 6c, 7c, 8c, 13c	14.59

Tabla 30. Resumen distribución

Para la elección de las bombas, se tendrá en cuenta el caudal que circula por el circuito, así como la perdida de carga más desfavorable representada en las tablas 24-27.

Circuito	Caudal (m3/h)	ΔPinst (kPa)	Seguridad--> 0.05 x ΔPinst (kPa)	ΔPb (m.c.a)
Primario	22.46	80.84	4.04	8.49
Secundario	22.46	39.26	1.96	4.12
Terciario	11.09	38.01	1.90	3.99
Distribución	11.09	14.59	0.73	1.53

Tabla 31. Pérdida total

Los grupos de bombeo se seleccionarán en base al circuito de mayor pérdida de carga como la suma de las pérdidas de carga totales de los tramos que la componen, la tabla 28 es un resumen de dichas pérdidas junto con un margen de seguridad. La altura manométrica de la bomba en el punto de trabajo debe ser superior a las pérdidas de carga totales.

Se han escogido bombas de la marca AIGpumps, bomba centrífuga con 10 bar de máxima presión de trabajo, la tabla 29 muestra la tabla de selección con los diferentes modelos, se ha escogido el modelo MGX-E 40-125/2,2 para el circuito primario y el modelo MGX-E-40-125/1,5 para el resto de circuitos.

TIPO	Potencia Nominal P2		Q	m^3/h	5	10	15	20	25	30	35	40
	kW	HP		l/min	83	166	250	333	416	500	583	666
MGX-E 40-125/1,5	1,5	2	H [m]		15,5	15,4	15	14,4	13	11,3		
MGX-E 40-125/2,2	2,2	3			20	19,7	19,5	19	18	16,7	15,2	
MGX-E 40-125/3,0	3	4			25,7	25,3	25,1	24,8	24	22,3	20,3	
MGX-E 40-160/4,0	4	5,5			30	29,7	29,3	28,9	28	26,5	24,5	
MGX-E 40-200/5,5	5,5	7,5			37,4	37,2	36,7	36,4	36	35,5	34,6	33,3
MGX-E 40-200/7,5	7,5	10			48	47,5	47	46,6	46	45,2	44,5	43,3
MGX-E 40-200/11,0	11	15			64	63,5	63	62,5	62	61,5	60,5	59

Tabla 32. Tablas de selección

2.9 Dimensionado vaso de expansión

Un vaso de expansión es un componente empleado en sistemas hidráulicos con el fin de absorber el incremento en el volumen que se produce al expandirse el fluido presente en elcircuito, como respuesta al aumento de temperatura.

En situaciones donde el agua dentro del circuito experimenta calentamiento, su volumen aumenta, y, por consiguiente, la presión se eleva. La función primordial del depósito deexpansión radica en prevenir posibles daños a las tuberías u otros elementos del sistema acausa de este aumento en la presión.

Cuando el fluido se expande, ejerce presión sobre una membrana, comprimiendo el aire contenido en el depósito. De esta manera, el aire asume la responsabilidad de absorber elincremento de presión, lo que garantiza un nivel constante de presión operativa en el circuito en todo momento. Se proporciona una representación esquemática de un depósitode expansión en la Figura 29.

Para llevar a cabo el cálculo del tamaño óptimo de este componente, seguimos las directrices de la norma UNE 100155:2004, tal como se sugiere en el apartado IT 1.3.4.2.4 del RITE. Dicha normativa establece la determinación del volumen mínimo de un depósitode expansión mediante la siguiente expresión:

$$V_{vaso\ expansión} = V_T \cdot c_{e(corregido)} \cdot c_p$$

Figura 30. Vaso de expansión

Donde el volumen total, se obtiene de sumar el volumen del circuito hidráulico (Vtuberías),el de los captadores y el intercambiador, dotando el resultado final con un margen de seguridad del 10% del volumen total. El volumen en la red de tuberías se obtiene, de aplicar la siguiente formula a cada uno de los tramos de los circuitos:

$$V = L \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$V_{tuberíasp} = V_{cubierta} + V_{sm} = 1407,62 + 248,28 = 1655,9\ l$$
$$V_{tuberíass} = 78,64\ l$$
$$V_{tuberíast} = 29.57$$

V_{sm} = *Volumen de cubierta hasta sala de maquinas*
$V_{tuberíasp}$ = *Tuberías primario*
$V_{tuberíass}$ = *Tuberías secundario*
$V_{tuberíast}$ = *Tuberías terciario*

En cuanto al volumen de captadores e intercambiadores, obtendremos los parámetros necesarios para hallar dichos volúmenes, a través de los catálogos del fabricante

$$V_{captadores} = N_c \times V_c = 130 \times 1,02 = 132,6\ l$$

Nc = Numero de captadores

$$V_{intercambiador} = 4,4\ l$$
$$V_{intercambiadort} = 4.1\ l$$

De manera que el volumen total que circula por los tres circuitos, quedaría:

$$V_{Tp} = (V_{tuberías} + V_{captadores} + V_{intercambiador}) \times 1,1 = 1972,19\ l$$
$$V_{T_s} = (V_{tuberías} + V_{intercambiador} + V_{deposito}) \times 1,1 = 10083.04\ l$$
$$V_{Tt} = (V_{tuberías} + V_{intercambiador} + V_{deposito}) \times 1,1 = 10037.04\ l$$

A continuación, sigue calcular sendos coeficientes de expansión y presión. La expresión para el coeficiente de expansión es la siguiente:

$$C_e = \left(-1,75 + 0,064 \times T + 0,0036 \times T^2\right) \times 10^{-3} = 0,026$$

Se ha usado como T máxima alcanzable 80ºC, a pesar de que esta temperatura corresponde con el límite soportable de los captadores, la temperatura especificada por el fabricante para los modelos de captadores seleccionados, resulta excesiva y no se llegará a alcanzar nunca.

Además, no será necesaria corrección alguna en el coeficiente debido a la inexistencia de sustancias anticongelantes en el circuito.

Para determinar el coeficiente de presión del vaso de expansión, resulta esencial establecer tanto la presión mínima como la presión máxima de operación.

La presión mínima de funcionamiento, denotada como Pm, corresponde a la presión en el vaso cuando la instalación se encuentra inactiva. Esta cifra debe mantenerse en todo momento por encima de la presión atmosférica, evitando así la entrada de aire en el sistema. Asimismo, debe superar la presión de saturación del vapor de agua.

Su determinación se basa en la elevación geométrica entre el punto de instalación del depósito de expansión y los colectores solares en el techo del edificio. Dado que el depósito se halla en la sala de máquinas y los colectores están en la cubierta del edificio, hay que calcular la distancia vertical desde el suelo de la sala de máquinas hasta la cubierta del edificio, que equivale a 20 metros, sumada a la altura desde la cubierta hastala tubería de salida del colector, que es de 1,43 metros.

En consecuencia, la presión en el lugar de colocación del depósito será igual a la presiónde la columna de agua que se extiende sobre él, alcanzando una altura de $h =$ 21,43 m. A esta medida se le añadirá la presión atmosférica, $patm$, y un margen de seguridad de 0,5 bar. Los cálculos se presentan de la siguiente manera:

$$P_m = \rho \times g \times h + P_{atm} + P_s = 10^3 \times 9,8 \times 21,43 + 10^5 + 0,5 \times 10^5 = 3,6\ bar$$

$$\rho = densidad\ del\ agua \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

$$g = gravedad \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

El valor máximo de presión en funcionamiento, designado como PM, se encuentra limitado por la capacidad máxima de presión que el captador solar puede tolerar, una especificación proporcionada por el fabricante de estos componentes. De esta manera, PM se establece ligeramente por debajo de la máxima presión indicada para los captadores solares, que corresponde a la presión de ajuste de la válvula de seguridad, PVS. En últimainstancia, PM se calcula como el valor mínimo entre estos dos parámetros.

$$P_M = 0,9 \times P_{vs}$$

$$P_M = P_{vs} - 0,5$$

$$P_M = 7,2\ bar\ ;\ P_m = 2,32\ bar\ ;\ P_{vs} = 8\ bar$$

De modo que el coeficiente de presiones resultaría:

$$C_P = \frac{P_M}{P_M - P_m} = 2$$

Volviendo de nuevo a la expresión del inicio, se obtiene el Vexp, necesario para la correcta selección de los vasos.

$$V_{expp} = V_{Tp} \times C_e \times C_P = 102,55\ l$$

$$V_{exps} = V_{Ts} \times C_e \times C_P = 493.42\ l$$

$$V_{expt} = V_{Tt} \times C_e \times C_P = 472.88\ l$$

2.10 Dimensionado aerotermo

El aerotermo, integrado en el circuito primario como una salvaguarda ante elevadas temperaturas, se configura de manera que pueda reducir la temperatura de salida de los captadores solares en 5

grados Celsius, se estima este incremento de temperatura en función de la temperatura máxima permitida en fluido (90ºC) y la temperatura a la que se quiere bajar el fluido (85ºC). Teniendo en cuenta que el caudal de la bomba en el circuito primario asciende a 22464 l/h, equivalente a 6,24 kg/s, la potencia requerida para el aerotermo se calcula de la siguiente manera:

$$P = C_p \times \dot{m} \times \Delta T = 4,18 \times 6,25 \times 5 = 130,63\ kW$$

Se selecciona un aerotermo modelo XL30, de la marca Termicol, capaz de disipar 190kW, con temperatura de entrada del agua de 90ºC y temperatura de entrada del aire de 35ºC.

Aerotermos				
Nº Captadores	Modelos captadores	Descripción	Referencia	Precio
1 - 3 1 - 4 1 - 5	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	8 kW	705DI008M	688 €
4 - 8 5 - 9 6 - 12	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	18 kW	705DI018M	770 €
5 - 11 10 - 13 13 - 16	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	24 kW	705DI024M	920 €
12 - 18 14 - 21 17 - 26	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	40 kW	705DI040M	1.410 €
19 - 24 22 - 28 27 - 34	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	52 kW	705DI052M	1.560 €
25 - 18 29 - 33 35 - 40	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	61 kW	705DI061M	1.887 €
29 -35 34 - 42 41 - 50	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	76 kW	705DI076M	2.078 €
36 - 50 43 - 57 51 - 70	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	106 kW *	705DI106T	3.311 €
51 - 71 58 - 84 71 - 101	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	152 kW *	705DI152T	3.856 €
72 - 89 85 - 105 102 - 126	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	190 kW *	705DI190T	4.224 €
90 - 114 106 - 134 127 - 161	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	243 kW *	705DI243T	7.019 €
115 - 143 135 - 168 161 - 200	XL30 S26, G26 S21, G21, P21	304 kW *	705DI304T	7.254 €

Tabla 33. Selección aerotermo

2.11 Cálculo de espesores de aislamiento

El cálculo del espesor mínimo de aislamiento de las tuberías se basa en factores clave como la temperatura máxima del fluido, el diámetro interno de las tuberías y su ubicación, ya sea en interiores o al aire libre. En el caso de las tuberías expuestas a las condiciones climáticas, es esencial

aplicar una protección externa para garantizar su resistencia a los efectos del clima. Para este propósito, se pueden emplear revestimientos como pinturas asfálticas, poliésteres con refuerzo de fibra de vidrio o pinturas acrílicas.

Las Tabla 25 presentan los valores de espesor mínimo de aislamiento para un material con una conductividad térmica de 0,04 W/m·K, siguiendo las directrices del RITE. En el contexto de esta instalación específica, donde la temperatura de operación de los fluidos varía entre 40 y 70 ºC, los espesores de aislamiento indicados en la Tabla 24 se aplican a temperaturas que oscilan entre 60 y 100 ºC.

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

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

Diámetro exterior (mm)	22	27	34	42	52	67	82	92	102
Interior	25	25	25	30	30	30	30	40	40
Exterior	35	35	35	40	40	40	40	40	40

Tabla 34. Diámetros espesores

De manera predeterminada, los tanques se suministran de fábrica con un revestimiento de fibra de vidrio desmontable, que puede ser de 50 mm o 100 mm de espesor y está recubierto con PVC.

Dado que se considera tanto la temperatura de operación del equipo como su ubicación en espacios interiores, se determina que el aislamiento necesario para un material con una conductividad térmica de 0,04 W/m·K será de 30 mm.

2.12 Sistema de regulación y control

Se equipará la instalación con un sistema de control y regulación que asegure de manera constante el cumplimiento de las condiciones de diseño, al tiempo que ajusta el consumo en función de la demanda térmica, y, en casos necesarios, lo suspende.

El sistema cuenta con una pantalla de visualización del sistema, 2 sondas de temperatura pt1000, balance térmico, VBus, control de funcionamiento y unidad centralita FAGOR TR 0704.

Características:

- Entradas: 2 sondas de temperatura PT100 Termicol

- Salidas: 1 relé semiconductor

- Potencia absorbida en espera: <2 W

- Alimentación: 220-240V

- Conexión: Estrella

- Montaje: en la pared o cuadro de conexiones

2.13 Accesorios

Los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento de nuestra instalación son lossiguientes:

Válvulas de retención (Total: 8). Se sitúan:

- En la impulsión de las bombas montadas en paralelo
- En la acometida de agua fría
- En el sistema de llenado y vaciado de la instalación

Válvulas de compuerta (Total: 20). Se sitúan:

- En la entrada y salida de cada fila de captadores,
- En las entradas y salidas de los 2 acumuladores,
- En la conexión con el sistema convencional,
- En la entrada del agua de red
- En general en la entrada y salida de todos los equipos de la instalación (aerotermo, bombas de circulación, intercambiador de calor, etc.)

Válvula de tres vías todo o nada, en la desviación al aerotermo en el circuito primario (Total: 1).

Válvulas de seguridad (Total: 3). Se sitúan:

- Junto al vaso de expansión del circuito primario
- En los acumuladores

Filtros (Total: 2): situados en la aspiración del grupo de bombeo del primario, secundario y terciario.

Purgador automático: Situado a la salida del vaso de expansión y a la salida de cada filadel campo solar.

Termómetros en cada uno de los 2 depósitos, en las conexiones de entrada y salida de los intercambiadores de calor y en la salida de cada fila de captadores (Total: 10)

Manómetros en cada una de las bombas de circulación de los circuitos primario, secundario y terciario (Total: 6).

Sistema de llenado y vaciado que se sitúan en ambos acumuladores y en los circuitos (Total: 2).

3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

3.1 Objeto

Las directrices técnicas establecidas en este documento de especificaciones definen los criterios generales del proyecto concerniente a la implementación de un sistema de energía solar destinado a la producción de agua caliente sanitaria. Contempla la especificación delos dispositivos y materiales, el proceso de ensamblaje de los equipos, las evaluaciones de funcionamiento y las pautas de mantenimiento.

3.2 Normativa aplicable

La totalidad de los materiales y actividades que componen la instalación deberán estar en concordancia con los requisitos estipulados en los siguientes reglamentos:

- Pliego de Especificaciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Térmica a baja Temperatura.

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificaciones (RITE), junto con sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE), según lo establecido en el Real Decreto 178/2021 del 23 de marzo.

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y sus directrices Complementarias MI.BT, incluyendo las correspondientes hojas de interpretación.

- Código Técnico de la Edificación - Acciones en la Edificación (CTE-DB-AE).

- Código Técnico de la Edificación – Protección contra el Ruido (CTE-DB-HR).

- Código Técnico de la Edificación – Seguridad en caso de Incendio (CTE-DB-SI).
- Norma UNE-EN 12975-1:2006. “Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares.”

Asimismo, se dará cabida al cumplimiento de todas las disposiciones normativas de índole regional y local.

Adicionalmente a las regulaciones de carácter obligatorio mencionadas previamente, se hará uso de otras pautas tales como las normas UNE promulgadas por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), las directrices NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, así como las normativas de las empresas suministradoras de energía eléctrica, entre otras. En ciertas ocasiones, en ausencia de normativas nacionales, se recurrirá a directrices de organismos internacionales como CER, ISO, entre otros. En todoslos casos, se seguirá la edición más reciente de todas las normas mencionadas, con las últimas modificaciones oficialmente sancionadas.

Del mismo modo, se respetarán cualquier otra normativa o regulación referenciada en el presente

pliego de condiciones.

3.3 Condiciones de materiales y equipos

3.3.1 Tuberías y accesorios

En los diversos circuitos cerrados que conforman la instalación, es factible emplear conductos confeccionados en cobre, acero negro, acero inoxidable o materiales plásticos adecuados para la naturaleza del fluido transportado. Estos materiales han de ser capaces de resistir las condiciones operativas extremas propias de cada circuito, y se requerirá de la protección necesaria en función de su ubicación.

En las redes destinadas a suministrar agua caliente sanitaria, se permite la utilización de cobre y acero inoxidable. Asimismo, se podrán considerar materiales plásticos que posean la resistencia necesaria para enfrentar las condiciones extremas de presión y temperatura inherentes al circuito, siempre y cuando cuenten con la aprobación de la normativa vigente.

Las tuberías de cobre serán preferentemente aquellas fabricadas a partir de procesos de estiramiento en frío, y su ensamblaje se llevará a cabo mediante accesorios de conexión a presión, los cuales deben estar preparados para soportar las condiciones extremas. De igual modo, se podrá recurrir a la soldadura por capilaridad según lo establecido en la norma UNE EN 1057, reservando la soldadura fuerte para situaciones en las que la temperatura delcircuito pueda exceder los 125 ºC.

En todos los escenarios, se recomienda considerar la implementación de medidas de protección catódica en relación al acero, siguiendo los parámetros establecidos por la Norma UNE 100050.

En los casos de elementos metálicos no galvanizados, ya sean tuberías, soportes o accesorios, o aquellos que carezcan de la protección anticorrosiva proporcionada por el fabricante, será necesario aplicarles dos capas de un recubrimiento antioxidante elaboradoa partir de resinas sintéticas acrílicas de múltiples pigmentos, con una base de minio de plomo, cromado de zinc y óxido de hierro. La aplicación de estas capas se realizará en dos etapas: la primera antes de la instalación en el sitio, y la segunda una vez que el tubo se encuentre debidamente colocado.

Accesorios:

a) Compensadores de dilatación

En el trazado de circuitos de agua caliente, resulta fundamental la inclusión de adaptadores para la expansión térmica. Estos adaptadores han de ser instalados siguiendo las indicaciones del diseño, y en su ausencia, de acuerdo a la experiencia del instalador, siguiendo las pautas establecidas en el reglamento y las directrices técnicas correspondientes.

La ubicación de estos elementos se efectuará en puntos fijos precisos que sean capaces de resistir

las tensiones generadas por la dilatación y la presión inherentes al sistema.

Los extremos del compensador estarán elaborados en acero al carbono y se prepararán para soldarse a las tuberías con un chaflán de 37° 30' y un talón de 1,6 mm cuando el diámetro nominal de las tuberías no exceda las 2 pulgadas. En el caso de tuberías con diámetros superiores, las conexiones se llevarán a cabo mediante bridas de acero al carbono conformea las normas DIN 2502 o 2503, dependiendo de las presiones nominales de 6, 10 o 16 Kg/cm2. Estas bridas serán soldadas a los cuellos del compensador mediante los métodos de soldadura recomendados para piezas de acero al carbono de espesores medianos.

b) Juntas

El uso de amianto queda excluido. La presión nominal mínima de las juntas deberá ser de PN-10, y deben poder soportar temperaturas de hasta 200ºC.

c) Lubricante de roscas

General: no endurecedor, no venenoso.

d) Acoplamientos dieléctricos o latiguillos

En las uniones que involucren la combinación de cobre y acero o fundición, tanto en las líneas de impulsión como en las de retorno, se incorporarán acoplamientos dieléctricos o latiguillos.

e) Derivaciones

Para las derivaciones, se podrán emplear empalmes soldados. Cualquier abertura efectuada en las tuberías deberá ser realizada con precisión, buscando intersecciones perfectamente acabadas.

f) Codos en bombas

Se suministrarán codos de radio largo en las secciones de succión y descarga de las bombas.

g) Sombreretes

Se contemplará la inclusión de protecciones adecuadas para aquellas tuberías que atraviesen el tejado, siguiendo las directrices de la Dirección Facultativa.

h) Guías

Se proveerán guías en las ubicaciones señaladas y donde su empleo sea necesario, como en liras y juntas de expansión. Su instalación seguirá las recomendaciones del fabricante.

i) Termómetros

Los termómetros empleados serán termómetros de mercurio en vidrio, con una escala apropiada para el servicio, mostrando divisiones de medio grado. Estos serán colocados dentro de cajas metálicas de protección con ventanas de vidrio, permitiendo una lectura sencilla.

j) Manómetros

Los manómetros contarán con válvulas de aguja de aislamiento en acero inoxidable, sumergidos en glicerina. Los rangos de presión de los manómetros serán elegidos de manera que, durante la operación normal, la aguja se encuentre en el centro del dial. La precisión será de al menos un 1%. Se incorporarán los puntos de toma de presión necesarios y especificados en los planos o las especificaciones.

k) Válvulas de Alivio

Se incluirán todas las válvulas de alivio indicadas o requeridas (de tarado adecuado) para asegurar un funcionamiento completamente seguro y adecuado de los sistemas. Durante las pruebas de instalación, se llevará a cabo el timbrado de estas válvulas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte, adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120ºC y hasta 25 kg/cm2. Se utilizarán materiales como bronce RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y tobera; latón para el cabezal y el obturador; acero cadmiado para el resorte; y PTFE para la junta.

l) Purgador de aire

En los casos necesarios, para garantizar un funcionamiento silencioso y prevenir la formación de bolsas de aire, las tuberías se dispondrán con una pendiente ascendente en la dirección del flujo. Se diseñarán las derivaciones de tal manera que se evite la retención de aire y se permita su libre paso. Se instalarán dispositivos de purga de aire, tanto manuales como automáticos, en todos los puntos elevados, especialmente en los tramos más altos de las columnas principales, así como en los puntos necesarios, prestando particular atención a los retornos (tramos ascendentes y codos ascendentes).

En caso de que, una vez que los sistemas estén operativos, se presenten anomalías debido ala presencia de aire en la instalación, se procederá a la instalación de nuevos empalmes, dispositivos de purga y válvulas según sea necesario y sin costos adicionales. Si se requieren trabajos que impliquen rupturas y reemplazos, el contratista asumirá los gastos asociados.

En términos generales, se dará preferencia a los dispositivos de purga manuales, a menos que situaciones ocultas o de difícil acceso hagan aconsejable la instalación de purgadores automáticos.

m) Vaciados

Las descargas de vaciado, purgadores, válvulas de seguridad y reboses se dirigirán hacia el sumidero o desagüe más cercano. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar dañoso desperfectos en caso de descargas accidentales. Se proveerán las válvulas de vaciado necesarias para el vaciado completo de todos las tuberías y equipos.

n) Conexiones a equipos

Se instalarán elementos de conexión que permitan un acople y desacople sencillo entre diversos equipos y elementos de la red de tuberías, como latiguillos y bridas, dispuestos de tal manera que los equipos puedan ser puedan ser mantenidos o que puedan retirarse sin tener que desmontar la tubería. La instalación se realizará de tal modo que no se transmitan esfuerzos de las redes de tuberías a los equipos.

3.3.2 Válvulas

a) Generalidades.

Las válvulas serán marcadas de manera indeleble con el diámetro nominal, la presión nominal y, cuando sea aplicable, la presión de ajuste correspondiente.

En la elección de las válvulas, se atenderá a su función específica y a las condiciones extremas de operación (presión y temperatura) siguiendo los siguientes criterios:

- Para el aislamiento: se optará por válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: se emplearán válvulas de asiento.
- Para el vaciado: se seleccionarán válvulas de esfera o de macho.
- Para el llenado: se utilizarán válvulas de esfera.
- Para la purga de aire: se considerarán válvulas de esfera o de macho.
- Para la seguridad: se emplearán válvulas de resorte.
- Para la retención: se utilizarán válvulas de disco, de clapeta o de muelle (con disco partido).

Las válvulas de seguridad, debido a su función crucial, deben ser capaces de manejar la potencia máxima generada por el captador o conjunto de captadores, incluso en forma de vapor, sin superar en ningún caso la máxima presión de trabajo del captador o del sistema.

Los purgadores automáticos deberán ser resistentes a las presiones y temperaturas máximas alcanzables en el circuito correspondiente. Se recomienda que los purgadores del circuito primario soporten temperaturas de al menos 150ºC.

b) Materiales.

Los componentes esenciales de las válvulas deben estar confeccionados con los materiales que se especifican a continuación:

Válvulas de Esfera.

- Cuerpo en fundición de hierro o acero.
- Esfera y vástago en acero duro cromado o acero inoxidable.
- Asientos, juntas y sistema de estanqueidad en teflón. Para diámetros inferiores a 1 ½, podrán ser de latón estampado con esfera de latón duro cromado.

Válvulas de Asiento

- Cuerpo en bronce (hasta 2") o en fundición de hierro o acero.
- Tapa del mismo material que el cuerpo.
- Elemento de cierre en forma de pistón o asiento plano con cono de regulación en acero inoxidable y anillo de teflón. No será integral con el husillo.
- El asiento se conformará en bronce o acero inoxidable, según el material del cuerpo de laválvula.
- Sello de estanqueidad en el cuerpo y la tapa del mismo material.

Válvulas de Seguridad de Resorte

- Cuerpo en hierro fundido o acero al carbono con válvula de escape dirigido.
- Elemento de cierre y vástago en acero inoxidable.
- Sello de estanqueidad en latón. Resorte en acero especial para muelles.

Válvulas de Retención de Clapeta

- Cuerpo y tapa en bronce o latón.
- Asiento y clapeta en bronce.
- Conexiones con rosca hembra.

Válvulas de Retención de Muelle

- Cuerpo y tapa en bronce o latón.
- Asiento y clapeta en bronce.
- Conexiones con rosca hembra.
- Resorte en acero especial para muelles.

Purgadores Automáticos de Aire

- Cuerpo y tapa en fundición de hierro o latón.
- Mecanismo en acero inoxidable.
- Flotador y asiento en acero inoxidable o plástico.
- Elemento de cierre en goma sintética.

3.3.3 Aislamiento

El material empleado para el aislamiento debe estar en consonancia con la normativa UNE 100171.
Para aquellos materiales aislantes a la intemperie, se recomienda aplicar medidas de protección adecuadas para prevenir su deterioro ocasionado por los elementos atmosféricos.

A fin de salvaguardar el material aislante, se puede optar por la utilización de una cobertura o recubrimiento de escayola que se encuentre resguardado con pinturas asfálticas, poliésteres fortalecidos con fibra de vidrio o láminas de aluminio.

En el caso de aislamientos basados en espuma elastomérica, se pueden emplear pinturas plásticas impermeables, siempre y cuando su exposición prolongada a la radiación solar no repercuta en sus características fundamentales.

Si se trata de acumuladores e intercambiadores de calor ubicados al aire libre, se pueden emplear revestimientos de tejidos plásticos como una forma de protección adicional para el material aislante**.**

3.3.4 Vaso de expansión

Los vasos de expansión serán siempre de tipo cerrado. Cada vaso de expansión deberá contar con una placa de identificación, colocada en una posición claramente visible y con caracteres permanentes, donde se detallen los siguientes datos:

- Fabricante.
- Marca.
- Modelo.

Se sugiere que los vasos de expansión empleados en los circuitos primarios presenten una temperatura máxima de operación superior a 100ºC. No obstante, se tomarán las precauciones necesarias (mediante el uso de depósitos amortiguadores, sistemas de enfriamiento, entre otros) para evitar que el fluido alcance temperaturas superiores a las que el vaso pueda soportar.

En caso de fugas, es recomendable presurizar los depósitos de expansión con nitrógeno puro. El uso de aire no se aconseja, dado que podría reducir la vida útil del sistema.

La carcasa externa del depósito estará fabricada en acero, con una marca de aprobación claramente visible. Esta construcción permitirá acceder a la membrana interior de expansión. La parte interna recibirá un tratamiento anticorrosivo, mientras que exteriormente se aplicarán dos capas de tratamiento antioxidante, culminando con un acabado pintado al duco o esmaltado al horno.

El depósito estará dividido en dos compartimentos herméticos mediante una membrana de expansión. Dicha membrana, construida en caucho butílico o polipropileno, deberá mantener sus propiedades de elasticidad recuperable a temperaturas inferiores a 60ºC sin sufrir degradación. La cámara de expansión de gas se llenará con nitrógeno u otro gas inerte, y dispondrá de una conexión para la reposición de gas y un manómetro. En la entrada deagua se instalarán un manómetro, un termómetro, una válvula de alimentación, una purga de agua y un sistema de seguridad. Además, esta entrada dispondrá de un sifón, en cuya parte superior se ubicará un botellón de recogida de aire con purgador tanto manual como automático.

3.3.5 Bombas

La bomba de circulación llevara una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrito con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

- Fabricante
- Marca
- Modelo
- Características eléctricas

Los grupos bombas deberán reunir las siguientes características en cuanto a materiales y prestaciones:

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones paracebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga.

- Rodete de fundición/polysulfone o bronce.

- Eje en acero inoxidable AISI 316.

- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.

- Cojinetes a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.

- Cierres Mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.

- Juntas torcas de EPDM.

- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.

- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.

- Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1~ o 220/380V/ 3~, 50 Hz, IP.44 clase F.

- Presión de aspiración 2 maca. para 82ºC.

- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, numero de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.

- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba seránresistentes 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.

3.3.6 Captadores solares

a) Generalidades

El captador solar deberá contar con una etiqueta duradera y visible que incluya los siguientes detalles:

- Fabricante.
- Tipo.
- Número de serie.
- Año de fabricación.
- Superficie total del captador.
- Dimensiones del captador.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m2 y 30ºC.
- Volumen del fluido de transferencia de calor.
- Peso del captador vacío.
- Lugar de fabricación.

Se sugiere la elección de colectores solares que se ajusten a las siguientes especificaciones técnicas:

- Material de la cubierta transparente: vidrio templado con un espesor de al menos 3 mm yuna transmisión mayor o igual a 0,8.
- La distancia promedio entre el absorbedor y la cubierta transparente deberá situarse entre2 cm y 4 cm.
- El absorbedor deberá estar compuesto únicamente por materiales metálicos.

La instalación de sistemas integrados en cubierta debe llevarse a cabo según procedimientos aprobados por el fabricante, asegurando las características funcionales y la durabilidad del

conjunto.

Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador solar deben provenir de pruebas realizadas conforme a la norma UNE 12975. En este sentido, es esencial tener en cuenta que el rendimiento del captador está siempre asociado a una superficie útily a un caudal específico.

b) Modelo del captador

Se recomienda que todos los captadores integrados en la instalación sean del mismo tipo y modelo.

En el caso de que no sea posible mantener el mismo modelo durante una rehabilitación o expansión, se debe implementar un sistema de regulación de caudal mediante baterías que permita que las nuevas baterías presenten un caudal similar (con una diferencia máxima del 10%) al de las baterías existentes cuando el caudal de diseño circule por el circuito primario.

Si la instalación cuenta con captadores en una sola batería, se pueden emplear colectores diferentes, bajo las siguientes condiciones:

- No implicará cambios en el caudal circulante por el captador fuera del rango de ±5% en comparación con el caudal original de diseño unitario.
- No afectará negativamente el rendimiento térmico del sistema de captación en lascondiciones de operación normales.
- Mantendrán similitud estética.

c) Estructura de soporte y fijación del captador

La estructura de soporte deberá cumplir con los requisitos establecidos en el CTE-SE.

Todos los materiales utilizados en la estructura de soporte deberán ser resistentes a los factores ambientales, especialmente a la radiación solar y la combinación de aire y agua. En el caso de estructuras de acero, se deberá aplicar un recubrimiento de galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes. Los taladros en la estructura deben realizarse antes de aplicar el galvanizado o la protección.

Los elementos de fijación y las piezas auxiliares deberán estar protegidos mediante galvanizado, cincado o ser fabricados en acero inoxidable.

3.3.7 Sistema eléctrico y de control

La instalación eléctrica deberá estar en plena conformidad con el actual Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus correspondientes Instrucciones Técnicas

Complementarias.

Se diseñará un cuadro eléctrico específicamente destinado para la instalación solar. El sistema de supervisión contará con un controlador digital programable que incorporará una capacidad de adquisición de datos en tiempo real sobre el funcionamiento del sistema. Además, se habilitará la posibilidad de telegestión remota a través de un módem ya integrado. Los parámetros a monitorear incluirán caudales, temperaturas en los captadores solares y los acumuladores, así como la potencia y energía inyectada en cada servicio, junto con el tiempo de operación de las bombas.

Las funciones esenciales de regulación y control se estructuran de la siguiente manera:

- Encender la bomba de circulación en función del diferencial de temperatura entre la salida de la batería de captadores y la zona inferior del acumulador.

- La ubicación estratégica de las sondas se implementará de modo que detecten las temperaturas deseadas con precisión. Los sensores se instalarán dentro de vainas, evitandola colocación en conductos separados de la salida de los captadores y áreas de estancamiento (como en el caso de una piscina).

- La meticulosidad en la precisión de los sistemas de control y la calibración de los puntosde referencia garantizará que las bombas no funcionen cuando las diferencias de temperatura sean menores a 3°C ni que permanezcan inactivas cuando las diferencias sean superiores a 7°C.

- La discrepancia térmica entre el punto de activación y desactivación del termostato diferencial no será menor a 3°C.

- El sistema de control incluirá indicadores luminosos para mostrar la alimentación del sistema y el funcionamiento de las bombas.

3.3.8 Aparatos de medida

Los sistemas de medición de temperatura, caudal y energía proveen valiosa información sobre el estado operativo de la instalación y permiten llevar a cabo una evaluación exhaustiva de las prestaciones energéticas del sistema.

a) Medición de temperatura

La medición de las temperaturas se llevará a cabo mediante el empleo de sondas, termopares, termómetros de resistencia o termistores.

Para determinar las diferencias de temperatura en el fluido de trabajo, se utilizarán termopilas, termómetros de resistencia (conectados en disposición puente) o termopares emparejados,

asegurando así la generación de una señal de salida uniforme en todos los casos.

Es preferible que las sondas de temperatura sean de tipo inmersión, sumergidas en el fluido cuya temperatura se desea medir, o ubicadas a una distancia no superior a 5 cm del fluido.

b) Medición de caudal

Los medidores de caudal de agua estarán constituidos por una carcasa resistente a la acción del agua que albergará la cámara de medición, un componente con movimiento proporcionalal flujo de agua y un sistema de relojería para transmitir este movimiento a las esferas indicadoras por medio de un enlace magnético. Estas esferas, herméticamente selladas, presentarán una alta resolución.

En presencia de un sistema de regulación externo, se tomarán medidas para precintarlo y resguardarlo de alteraciones indebidas. Se proporcionarán los siguientes datos, suministrados por el fabricante:

- Calibre del contador.
- Temperatura máxima del fluido.
- Caudales: en servicio continuo, máximo (durante algunos minutos), mínimo (con precisión mínima del 5% y en arranque)
- Indicación mínima de la esfera.
- Capacidad máxima de totalización.
- Presión máxima de trabajo.
- Dimensiones.
- Diámetro y tipo de las conexiones.
- Pérdida de carga en función del caudal.

La medición de caudales de líquidos se efectuará mediante turbinas, medidores de flujo magnético, medidores de desplazamiento positivo o técnicas gravimétricas, asegurando una precisión igual o superior al ± 3% en todos los casos.

c) Medición de energía térmica.

Los medidores de energía térmica constarán de los siguientes componentes:

- Contador de agua, descrito anteriormente.
- Dos sondas de temperatura.
- Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado. La posición del contador y de las sondas define la energía térmica que se medirá.

El microprocesador podría alimentarse a través de la red eléctrica o mediante baterías con una duración de al menos 3 años. Este microprocesador multiplicará la diferencia de temperaturas por el caudal de agua instantáneo y su densidad. La integración temporal de estas magnitudes

proporcionará la cantidad total de energía.

3.3.9 Acumulador

El acumulador elegido deberá detallar el tipo y las siguientes especificaciones técnicas:

- Identificación del fabricante.
- Número de serie de fabricación.
- Volumen real.
- Dimensiones principales.
- Presión máxima de operación.
- Ubicación y diámetro de las conexiones.
- Posición y características de los puntos de sujeción o soportes.
- Temperatura máxima de servicio.
- Procedimientos de tratamiento y protección.
- Material y grosor del aislamiento, junto con información acerca de su protección.

El depósito acumulador adoptará una forma cilíndrica, y estará construido a partir de chapa de acero soldada, para posteriormente ser sometido a un proceso de galvanización mediante inmersión en caliente, tanto en su parte exterior como interior.
Se proveerá con una válvula de seguridad, ajustada a la máxima presión permitida, cuya salida estará direccionada hacia un desagüe; asimismo, incorporará un grifo de vaciado conectado al desagüe, una válvula de retención, un termómetro, así como conexiones de entrada, salida y retorno, junto con conexiones ciegas para alivio de presión.

El depósito deberá estar marcado a una presión equivalente al doble de la presión del sistema.

Se mantendrá una temperatura máxima del agua dentro del acumulador por debajo de los 58°C.

La interconexión de las tuberías del acumulador con el sistema se llevará a cabo medianteel uso de bridas, lo cual facilitará tanto el proceso de montaje como el mantenimiento continuo de la instalación.

3.3.10 Intercambiadores de calor

Los cambiadores de calor se fabricarán en acero inoxidable AISI 316 L. El intercambiador que se elija deberá ser capaz de soportar la máxima presión de operación de la instalación. Los materiales utilizados serán capaces de resistir temperaturas de hasta 110°C y seráncompatibles con el fluido de trabajo en uso.

Cada intercambiador contará con una placa de identificación ubicada en un punto fácilmente visible. En dicha placa se detallarán los siguientes datos, los cuales serán inscritos con caracteres indelebles:

- Fabricante.
- Marca.
- Modelo.
- Número de placas.
- Temperatura máxima.
- Presión nominal.
- Potencia nominal.
- Caudal nominal en primario y secundario.
- Salto de temperatura nominal en primario y secundario.

Se podrán utilizar intercambiadores de placas desmontables o electrosoldadas. El material de las placas será acero inoxidable o cobre.

3.4 Provisión del material

Se requerirá que los elementos incorporados en el proyecto sean de marcas acreditadas y, cuando sea necesario, estén homologados, a fin de asegurar las máxima garantías posibles.

Será provisto un espacio idóneo y seguro para el resguardo de los materiales y componentes de la instalación hasta el momento en que sean requeridos en el lugar de trabajo.

Dada la delicadeza especial de los captadores, se entregará un suministro de los mismos dispuestos en apilamiento sobre una base de madera apropiada, facilitando así su traslado con el uso de una carretilla elevadora.

En caso de que, una vez desempacados, los captadores necesiten permanecer temporalmente a la intemperie, serán colocados con un ángulo de inclinación que varíe entre un mínimo de 20º y un máximo de 80º, garantizando su correcta posición.

3.5 Condiciones de montaje

Las pautas para llevar a cabo los montajes serán aquellas especificadas por los fabricantesde los diversos materiales, dispositivos y equipos. La disposición de las diferentes etapas dela construcción será realizada considerando las prácticas convencionales que aseguran un rendimiento óptimo a lo largo de la vida útil estimada.

3.6 Pruebas, puesta en marcha y recepción

3.6.1 General

La culminación de la instalación ocurre con la entrega de la misma al promotor o usuario, marcando el inicio de la fase de uso y mantenimiento. La recepción de la instalación debe incluir el montaje integral, pruebas y ajustes detallados, así como su puesta en marcha.

El instalador se encargará de llevar a cabo las pruebas funcionales y garantizar el correcto funcionamiento de la instalación hasta su entrega al propietario.

En la memoria de diseño, se detallarán las pruebas a realizar. El registro de ejecución contendrá pruebas parciales, finales y funcionales, con fechas, resultados y grado de cumplimiento. Para efectos de aceptación, se considerará que la instalación opera adecuadamente cuando cumpla al menos con las pruebas parciales de este capítulo.

3.6.2 Pruebas parciales

Todas las pruebas se realizarán tras una verificación de los materiales al momento de su recepción en obra.

Durante la fase de construcción, se expondrán a la vista tramos de tubería, conexiones o elementos que quedarán ocultos para su inspección y aprobación antes de su ocultamiento.

Adicionalmente, se inspeccionarán los soportes de tubería, los diámetros, trayectorias y pendientes de las tuberías, y la continuidad de los aislamientos.

a) Pruebas de equipos

Los materiales y componentes deberán contar con una Certificación de Origen Industrial que demuestre su cumplimiento con las normas vigentes. La recepción se llevará a cabo validando el cumplimiento de las especificaciones del proyecto y sus características aparentes.

b) Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas

Antes de quedar ocultas por albañilería, material de relleno o aislamiento, todas las redes de fluidos deberán ser sometidas a pruebas hidrostáticas para asegurar su estanqueidad. Son aceptables las pruebas realizadas de acuerdo con la norma UNE-EN 14336:2005, según el tipo de fluido transportado.

c) Pruebas de libre dilatación

Una vez que las pruebas de tuberías hayan sido exitosas y se haya verificado hidrostáticamente el ajuste de los dispositivos de seguridad, las instalaciones con captadores solares serán llevadas a la temperatura de estancamiento de dichos dispositivos, previa desactivación de los reguladores automáticos.

Durante el enfriamiento y al finalizar este proceso, se comprobará visualmente que no haya deformaciones notables en ningún componente o tubería, y que el sistema de expansión haya operado correctamente.

3.6.3 PRUEBAS FINALES

Las pruebas finales son cruciales para asegurar que la instalación cumple con los estándares de calidad, fiabilidad y seguridad estipulados en el proyecto. Serán aceptables las pruebas finales que sigan las instrucciones de la norma UNE-EN 12599.

Las pruebas de libre dilatación y las pruebas finales de la instalación solar se llevarán a cabo en un día soleado y sin demanda.

En la instalación solar, se realizará una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario, con el circuito lleno y la bomba de circulación apagada, cuando la radiación incidente sobre el captador sea superior al 80% de la máxima definida por el proyectista, durante al menos una hora.

3.6.4 AJUSTES Y EQUILIBRADO

La instalación solar deberá ser ajustada dentro de los márgenes de tolerancia permitidos en el proyecto. Estos ajustes se realizarán siguiendo lo establecido en la Norma UNE 100.010 (partes 1, 2 y 3), "Climatización. Pruebas de ajuste y equilibrado", adaptada a las características específicas de cada sistema.

a) Sistemas de distribución de agua

Se verificará que el fluido anticongelante en los circuitos propensos a congelamiento cumpla con las especificaciones del proyecto.

Se ajustará cada bomba, cuya curva característica se debe conocer, al caudal de diseño, como paso previo a los ajustes en los circuitos.

Para cada circuito hidráulico, se conocerán el caudal nominal y la presión, así como los caudales nominales de cada uno de los ramales.

Los diferentes ramales o los dispositivos de equilibrado se ajustarán al caudal de diseño. Se comprobará el equilibrio hidráulico correcto de los distintos ramales según el procedimiento del proyecto.

Para cada intercambiador de calor, se conocerán la potencia, temperatura y caudales de diseño, y se ajustarán los caudales correspondientes.

Si hay más de un grupo de captadores solares en el circuito primario del subsistema de energía solar, se probará el equilibrio hidráulico correcto de las diferentes ramas según el procedimiento del proyecto.

Se comprobará el funcionamiento del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento y su retorno a las condiciones de operación normales sin intervención del usuario, en cumplimiento con el proyecto.

b) Control automático

Se ajustarán todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño del proyecto y se verificará el funcionamiento de todos los componentes del sistema de control.

3.6.5 RECEPCIÓN

a) Recepción provisional

La recepción tiene como objetivo asegurar que la instalación cumple con los servicios contratados y que se ajusta, tanto individualmente como en conjunto, a lo especificado en el proyecto.

Una vez que las pruebas funcionales arrojen resultados satisfactorios, se llevará a cabo la Recepción Provisional de la instalación por parte del propietario, marcando la finalización del montaje.

El acto de recepción provisional quedará registrado en un acta con los nombres de todos los involucrados, formalizando la entrega de la documentación pertinente. La documentación entregada debe incluir al menos lo siguiente:

- Una descripción detallada de la instalación, incluyendo las bases del proyecto y los criterios seguidos para su desarrollo.

- Una copia reproducible de los planos definitivos, comprendiendo, como mínimo, los esquemas de principio de todas las instalaciones, los planos de sala de máquinas y los planosde plantas donde se debería indicar el recorrido de las conducciones y la situación de lasunidades terminales.

- Un listado de todos los materiales y equipos utilizados, con detalles del fabricante, marca, modelo y características operativas.

- Resultados de pruebas parciales y finales.

- Manual de instrucciones de funcionamiento de los equipos principales de la instalación.

b) Recepción definitiva

Desde el acta de recepción provisional, la propiedad debe notificar cualquier problema enel funcionamiento de la instalación.

Tras el plazo establecido desde la recepción provisional, esta se transforma en recepción definitiva, marcando el inicio de la garantía.

3.7 Mantenimiento

Se establecen tres niveles de actuación para abarcar todas las operaciones necesarias a lo largo de la vida útil de la instalación, con el fin de asegurar su funcionamiento, mejorar suconfiabilidad y prolongar su duración:

- Supervisión.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

3.7.1 SUPERVISIÓN

El plan de supervisión se refiere principalmente a las operaciones destinadas a garantizarque los valores operativos de la instalación sean adecuados.

Consiste en un enfoque simple de observación de los parámetros clave para verificar el funcionamiento correcto de la instalación.

Esta actividad puede ser realizada por el usuario.

3.7.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El plan de mantenimiento debe abarcar todas las operaciones necesarias para que elsistema funcione de manera apropiada a lo largo de su vida útil.

El mantenimiento preventivo implica acciones como inspección visual, verificación de actuaciones y otras tareas que, aplicadas a la instalación, mantendrán las condiciones de funcionamiento, rendimiento, protección y durabilidad en límites aceptables.

En el mantenimiento preventivo se incluye, como mínimo, una revisión anual para instalaciones con una superficie de captación menor a 20 m2 y una revisión semestral parainstalaciones de más de 20 m2.

A continuación, se detallan las operaciones de mantenimiento preventivo a realizar, lafrecuencia mínima (en meses) y las observaciones pertinentes en relación con las precauciones a considerar.

IV: Inspección visual
CF: Control de Funcionamiento

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre original
Cristales	6	IV diferencias entre captadores
Juntas	6	IV Condensaciones y suciedad
Absorbedor	6	IV Agrietamientos y deformaciones
Carcasa	6	IV Corrosión deformaciones
Conexiones	6	IV Deformaciones oscilaciones
Estructura	6	IV Aparición de fugas
Captadores	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
Captadores	12	IV Destapado parcial del campo de captadores
Captadores	12	IV Tapado parcial del campo de captadores
Captadores	12	IV Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores	12	IV Llenado parcial del campo de captadores

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	12	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	6	Comprobación de la presión
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en el fondo
Aislamiento	12	Comprobación de que no hay humedad

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	120	Limpieza

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar cierre
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Sistema Auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

Tabla 35. Operación de mantenimiento

3.7.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Las acciones de mantenimiento correctivo no pueden ser planificadas debido a su naturaleza impredecible. Como su nombre sugiere, se llevan a cabo para solucionarproblemas observados durante el funcionamiento normal de la instalación.

Sin embargo, es posible llevar un registro de las acciones de mantenimiento correctivo mediante un parte de mantenimiento correctivo Este parte contendrá información sobre elcomponente afectado, la causa aparente y las acciones tomadas para corregir el problema.

4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

4.1 Sistema de captación

Nº Orden	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
1.1	**Ud. Captador solar Termicol modelo T25US** o similar - Área 2,4 m2 - Dimensiones 2400 x 1000 x 1000 - Peso 38 kg - K50 0,82 - Factor óptico 0,801 - Factor lineal pérdidas 3,93 W/m2 K - Factor cuadrático pérdidas 0,026 W/m2 K2 - Caudal de ensayo 72 l/h m2 - Pérdida de carga para caudal de ensayo 0,28 kPa	130	594.00	77,220.00
1.2	**Ud. Conjunto de accesorios Termicol**, modelo Batcapt-20 o similar, para batería de captadores que incluye llaves de corte, purgador automático y válvula de seguridad	32	109.00	3,488.00
1.3	**Ud. Soporte modelo ESTA5-T20** o similar para 5 captadores, en aluminio	26	628.00	16,328.00
1.4	**Ud. Aerotermo Termicol**, modelo XL30 o similar de 140kW de potencia Temperatura agua entrada 90ºC Temperatura salida del agua 85ºC Caudal de agua 6,24 kg/s Temperatura aire 35 ºC	1	4224.00	4,224.00
Total sistema de captación				101,260.00

4.2 Sistema de acumulación

Nº Orden	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
2.1	**Ud. Acumulador solar Lapesa modelo MB-10-IB**, o similar, con las siguientes caracteristicas: - Fabricado en acero al carbono S235JR - Capacidad de ACS: 10000 l - Peso en vacío: 1243 kg - Diámetro exterior: 1750 mm - Altura total: 5013 mm - Aislamiento desmontable en fibra de vidrio	2	9219.00	18,438.00
Total sistema de acumulación				18,438.00

4.3 Sistema de intercambio

Nº Orden	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
3.1	**Ud. Intercambiador de placas ALDINGÁS modelo S3/50 o similar** -Número de placas: 50 -Área de intercambio: 2,4 m2. -Potencia: 128,84 kW. -Material: Acero inoxidable AISI 316L. -Caudal circuitos: 3,08 kg/s -Salto térmico circuitos: 10 ºC. -Pérdida de carga circuitos: 3,43 m.c.a. - Presión maxima de trabajo 10 m.c.a	**1**	629.00	629.00
3.1	**Ud. Intercambiador de placas ALDINGÁS modelo S3/60 o similar** -Número de placas: 60 -Área de intercambio: 2,9 m2. -Potencia: 156 kW. -Material: Acero inoxidable AISI 316L. -Caudal circuitos: 6,24 kg/s -Salto térmico circuitos: 10 ºC. -Pérdida de carga circuitos: 3,5 m.c.a. - Presión maxima de trabajo 10 m.c.a	1	711.00	711.00
3.2	**Ud. Aislamiento fibra de vidrio** 100 mm de espesor recubierto de PVC	1	780.00	780.00
Total sistema de intercambio				2,120.00

4.4 Sistema hidráulico

Nº Orden	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
4.1	**Ud. Bomba circuito primario,** AIG pumps, modelo MGX-E 40-125/2,2 o similar con las siguientes caracteristicas: - Máxima presión de trabajo 10 ba - Caudal 25 m3/h - Numero de polos 2 y 4 - Peso 47 kg - Rango de temperaturas -20 / +120 ºC - Consumo de potencia nominal 2,2 kW - Altura 18m	2	3250.00	6,500.00
4.2	**Ud. Bomba circuito secundario,** AIG pumps, modelo MGX-E 40-125/1,5 o similar con las siguientes caracteristicas: - Máxima presión de trabajo 10 ba - Caudal 25 m3/h - Numero de polos 2 y 4 - Peso 35 kg - Rango de temperaturas -20 / +120 ºC - Consumo de potencia nominal 2,2 kW - Altura 15,4m	2.00	2985.00	5,970.00

4.3	**Ud. Bomba circuito terciario y distribución,** AIG pumps, modelo MGX-E 40-125/1,5 o similar con las siguientes caracteristicas: - Máxima presión de trabajo 10 ba - Caudal 15 m3/h - Numero de polos 2 y 4 - Peso 35 kg - Rango de temperaturas -20 / +120 ºC - Consumo de potencia nominal 1,5 kW - Altura 15,4m	4.00	2985.00	11,940.00
4.4	**Ud. Vaso de espansión**, Bombas HASA, modelo "Vaso espansión 500 l" tipo B o similar Temperatura del liquido -10/99 ºC	2.00	2567.00	5,134.00
4.4	**Ud. Vaso de espansión**, Bombas HASA, modelo "Vaso espansión 150 l" tipo B o similar Temperatura del liquido -10/99 ºC	1.00	1225.00	1,225.00
4.5	**Ud. m. Tubería de cobre de 22/20 o similar**	112.12	7.95	891.35
4.6	**Ud. m. Tubería de cobre de 27/25 o similar**	261.20	10.38	2,711.26
4.7	**Ud. m. Tubería de cobre de 34/32 o similar**	27.33	16.28	444.93
4.8	**Ud. m. Tubería de cobre de 42/40 o similar**	51.33	19.76	1,014.28
4.9	**Ud. m. Tubería de cobre de 52/50 o similar**	126.66	25.37	3,213.36
4.1	**Ud. m. Tubería de cobre de 67/65 o similar**	112.81	43.16	4,868.88
4.11	**Ud. m. Tubería de cobre de 90/88 o similar**	177.60	78.30	13,906.08
4.12	**Ud. Codo cobre H-H 90CU o similar** Comercial bastos 90 mm de diámetro exterior	28	114.20	3,197.60
4.13	**Ud. Codo cobre H-H 90CU o similar** Comercial bastos 67 mm de diámetro exterior	5	93.68	468.40
4.14	**Ud. Codo cobre H-H 90CU o similar** Comercial bastos 42 mm de diámetro exterior	1	20.77	20.77
4.15	**Ud. Codo cobre H-H 90CU o similar** Comercial bastos 27 mm de diámetro exterior	54	3.16	170.64
4.16	**Ud. Codo cobre H-H 90CU o similar** Comercial bastos 22 mm de diámetro exterior	21	1.90	39.90
4.17	**Ud. Te cobre 130RCU 90-90-90 mm o similar** Comercial bastos diámetro exterior	2	215.30	430.60
4.18	**Ud. Te cobre 130RCU 90-67-67 mm o similar** Comercial bastos diámetro exterior	2	190.50	381.00
4.19	**Ud. Te cobre 130RCU 67-27-67 mm o similar** Comercial bastos diámetro exterior	6	178.80	1,072.80
4.20	**Ud. Te cobre 130RCU 67-27-52 mm** o similar Comercial bastos diámetro exterior	4	146.15	584.60
4.21	**Ud. Te cobre 130RCU 52-27-52 mm o similar** Comercial bastos diámetro exterior	14	103.27	1,445.78
4.22	**Ud. Te cobre 130RCU 42-27-42 mm o similar** Comercial bastos diámetro exterior	2	48.90	97.80
4.23	**Ud. Te cobre 130RCU 34-27-42 mm o similar** Comercial bastos diámetro exterior	2	21.32	42.64
4.24	**Ud. Te cobre 130RCU 27-27-34 mm o similar** Comercial bastos diámetro exterior	2	8.38	16.76

4.25	**Ud. Te cobre 130RCU 27-27-27 mm o similar** Comercial bastos diámetro exterior	2	6.67	13.34
4.26	**Ud. Grifo manómetro 1/2"**, Salvador o similar	6	15.13	90.78
4.27	**Ud. Válvula de compuerta cierre metal DN102**, Salvador Escoda, modelo AA01 049 o similar	20	151.08	3,021.60
4.28	**Ud. Válvula de retención clapeta cierre metal DN102**, Salvador Escoda, modelo AA05 259 o similar, para una temperatura máxima de 90 C y presión máxima de 12 bar	8	254.15	2,033.20
4.29	**Ud. Válvula de seguridad** con membrana ordinaria SV WATTS-Comercial PROINCO de 42mm o similar	3	68.79	206.37
4.30	**Ud. Válvula de tres vías**, todo o nada DN102, Salvador Escoda o similar	1	1095.00	1,095.00
4.31	**Filtro DN102** Salvador Escoda, modelo AA08 120 o similar	2	154.86	309.72
4.32	**Ud. Sistema de llenado o similar**, incluyendo bomba circulación, válvula antirretorno y válvulas de corte, IVAR modelo MUL 11	2	565.59	1,131.18
4.33	**Ud. Aislamiento tubería de cobre 22/20 o similar**, 35 mm de espesor	112.12	13.55	1,519.23
4.34	**Ud. Aislamiento tubería de cobre 27/25 o similar**, 35 mm de espesor	261.20	15.59	4,072.11
4.35	**Ud. Aislamiento tubería de cobre 34/32 o similar**, 35 mm de espesor	27.33	17.10	467.34
4.36	**Ud. Aislamiento tubería de cobre 42/40 o similar**, 35 mm de espesor	51.33	18.42	945.50
4.37	**Ud. Aislamiento tubería de cobre 52/50 o similar**, 40 mm de espesor	126.66	22.79	2,886.58
4.38	**Ud. Aislamiento tubería de cobre 67/65 o similar**, 40 mm de espesor	112.81	24.76	2,793.18
4.39	**Ud. Aislamiento tubería de cobre 90/88 o similar**, 40 mm de espesor	177.60	45.67	8,110.99
Total sistema hidráulico				94,484.55

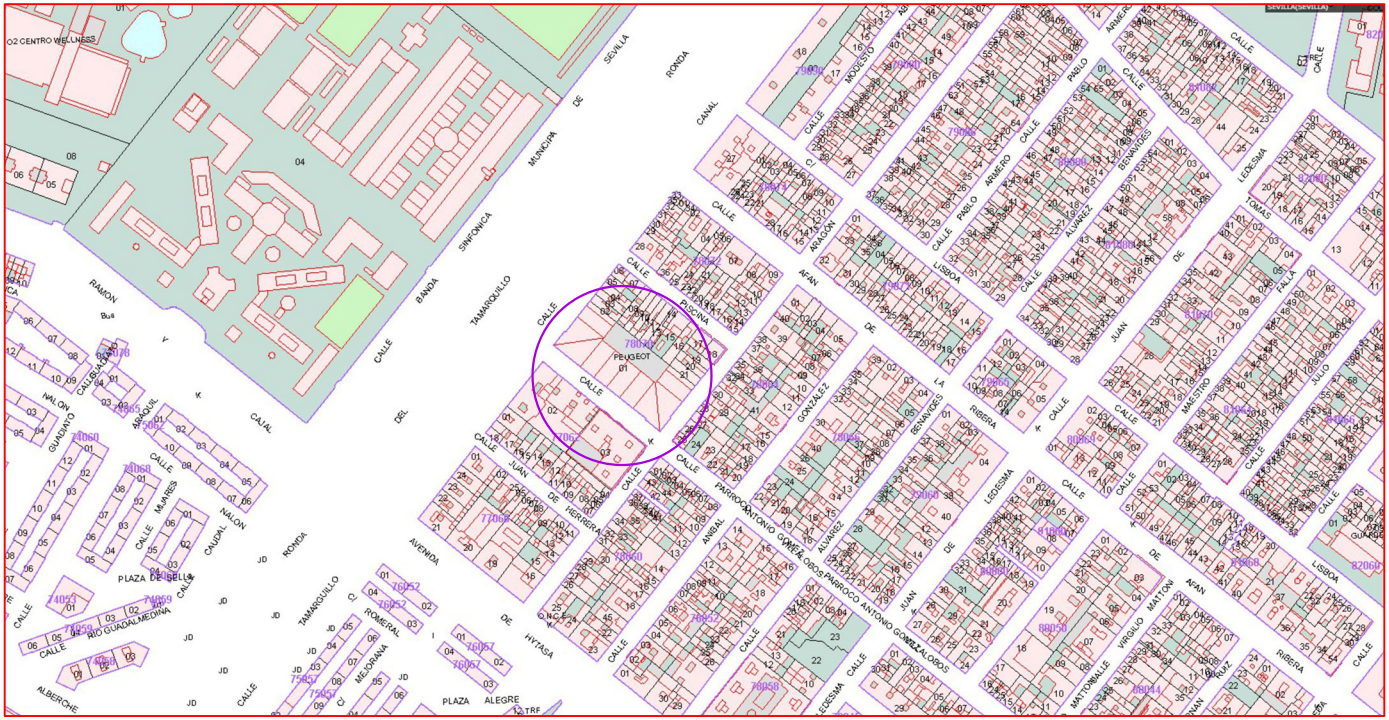
4.5 Sistema de control

Nº Orden	Concepto	Medición	Precio/Ud (€)	Total (€)
5.1	**Ud. Centralita FAGOR TR 0704** o similar: - regulación por diferencia de temperaturas	1	830.00	830.00
5.2	**Ud. Sonda de temperatura PT100 Termicol** o similar	2	23.90	47.80
5.3	**Ud. Termómetro de inmersión con vaina,** con escala 0-120ºC	10	7.80	78.00
5.4	**Ud. Manómetro de esfera** de 40 mm y con escala de regulación de 0 a 12 bar	6	3.60	21.60
Total sistema de control				977.40

RESUMEN

SISTEMA DE CAPTACIÓN:	101,260.00 €
SISTEMA DE ACUMULACIÓN:	18,438.00 €
SISTEMA DE INTERCAMBIO:	2,120.00 €
SISTEMA HIDRÁULICO:	94,484.55 €
SISTEMA DE CONTROL:	977.40 €
Total Sin IVA	217,279.95 €
IVA (21%)	45628.79 €
TOTAL	**262,908.74 €**
Coste por m2	**759.46 €/m2**

5. PLANOS



INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN UN BLOQUE DE VIVIENDAS EN SEVILLA.

PLANO nº

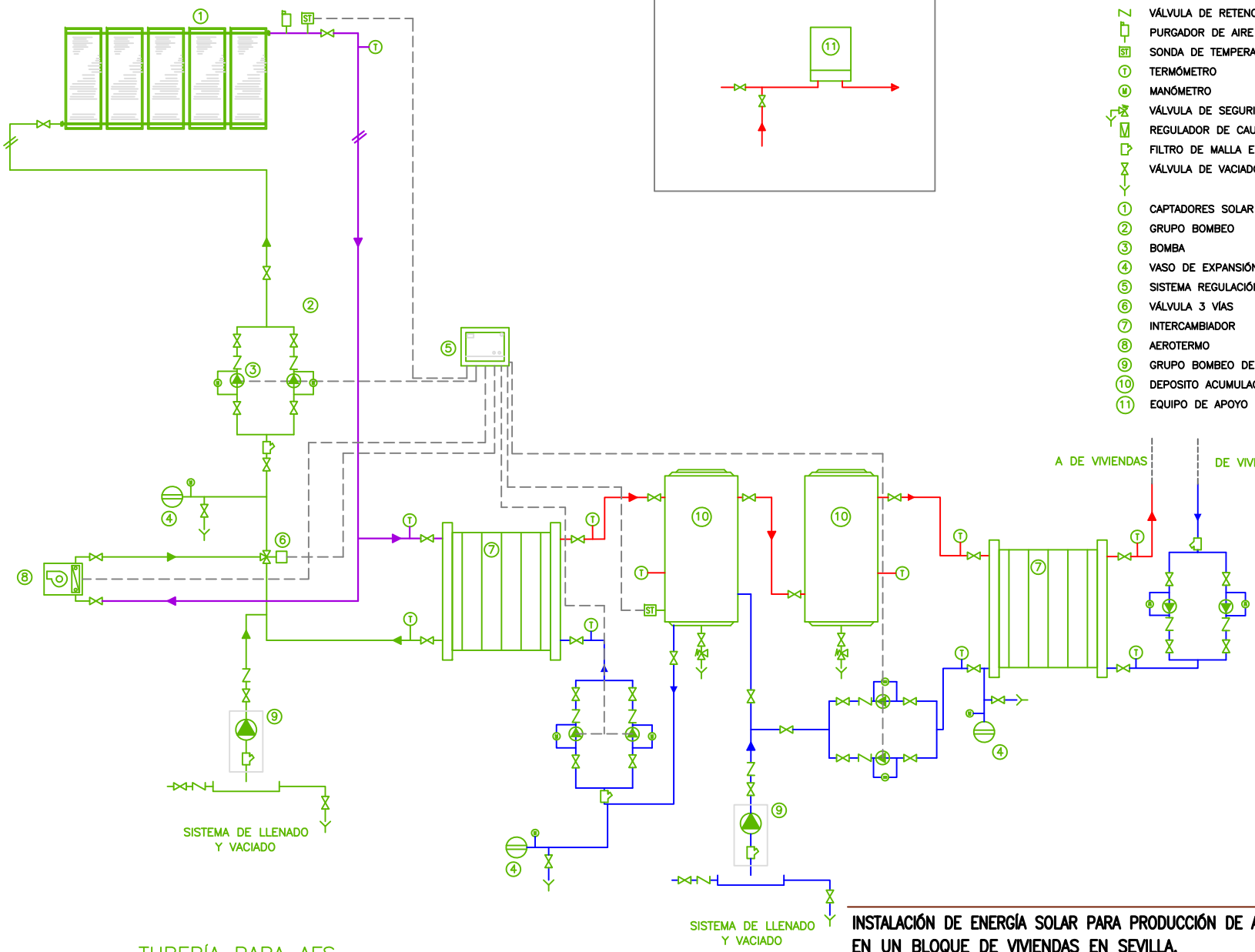
01

AUTOR: JUAN JOSÉ JIMÉNEZ-ORTA RIVERO

ESCALA: SIN ESCALA

FECHA: JULIO-2023

PLANO DE SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO



LEYENDA

- VÁLVULA DE CORTE
- VÁLVULA DE RETENCIÓN
- PURGADOR DE AIRE
- SONDA DE TEMPERATURA DEL SISTEMA REGULACIÓN
- TERMÓMETRO
- MANÓMETRO
- VÁLVULA DE SEGURIDAD
- REGULADOR DE CAUDAL
- FILTRO DE MALLA EN "Y"
- VÁLVULA DE VACIADO

1. CAPTADORES SOLAR
2. GRUPO BOMBEO
3. BOMBA
4. VASO DE EXPANSIÓN
5. SISTEMA REGULACIÓN SOLAR
6. VÁLVULA 3 VÍAS
7. INTERCAMBIADOR
8. AEROTERMO
9. GRUPO BOMBEO DE LLENADO CIRCUITO SOLAR
10. DEPOSITO ACUMULACIÓN
11. EQUIPO DE APOYO

TUBERÍA PARA AFS

TUBERÍA PARA ACS

TUBERÍA IMPULSIÓN CIRCUITO SOLAR

TUBERÍA RETORNO CIRCUITO SOLAR

INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN UN BLOQUE DE VIVIENDAS EN SEVILLA.

PLANO nº

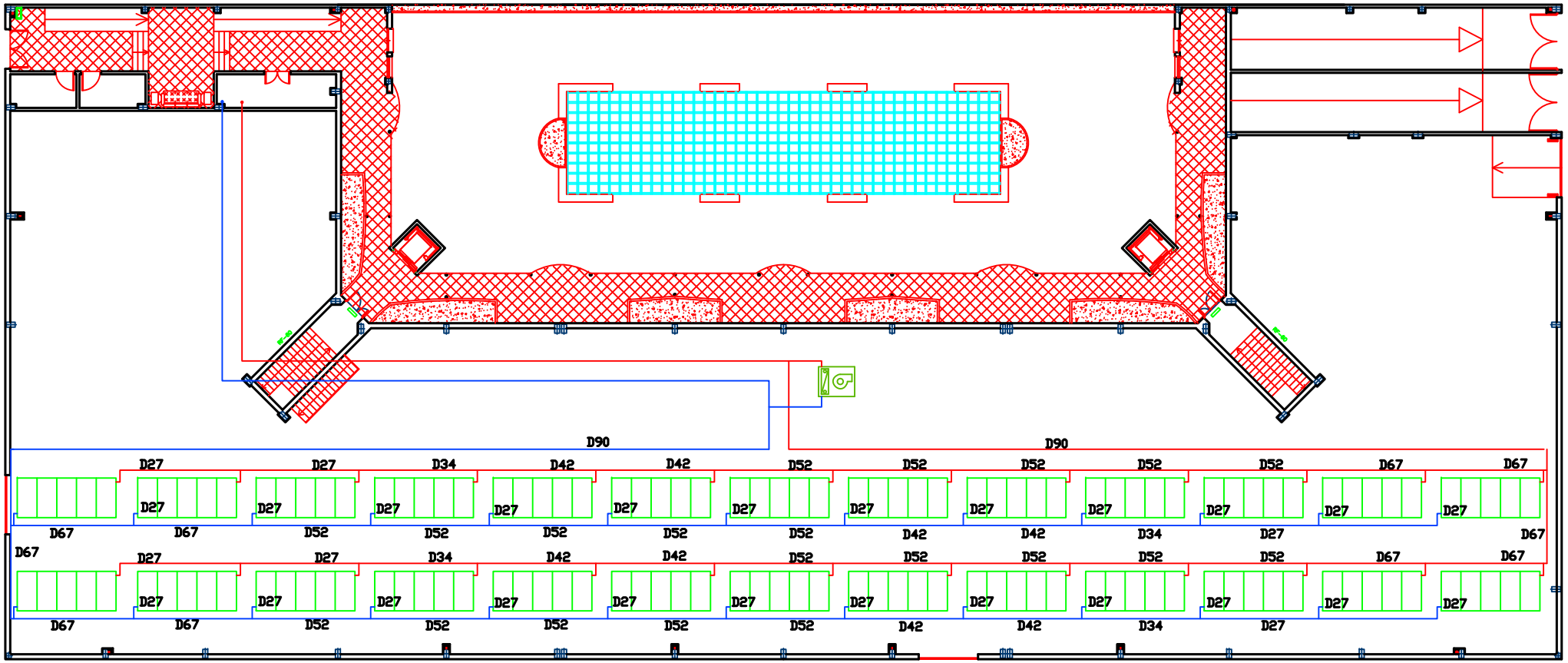
02

AUTOR: JUAN JOSÉ JIMÉNEZ-ORTA RIVERO

ESCALA: SIN ESCALA

FECHA: JULIO-2023

ESQUEMA DE PRINCIPIO



INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN UN BLOQUE DE VIVIENDAS EN SEVILLA.

PLANO nº

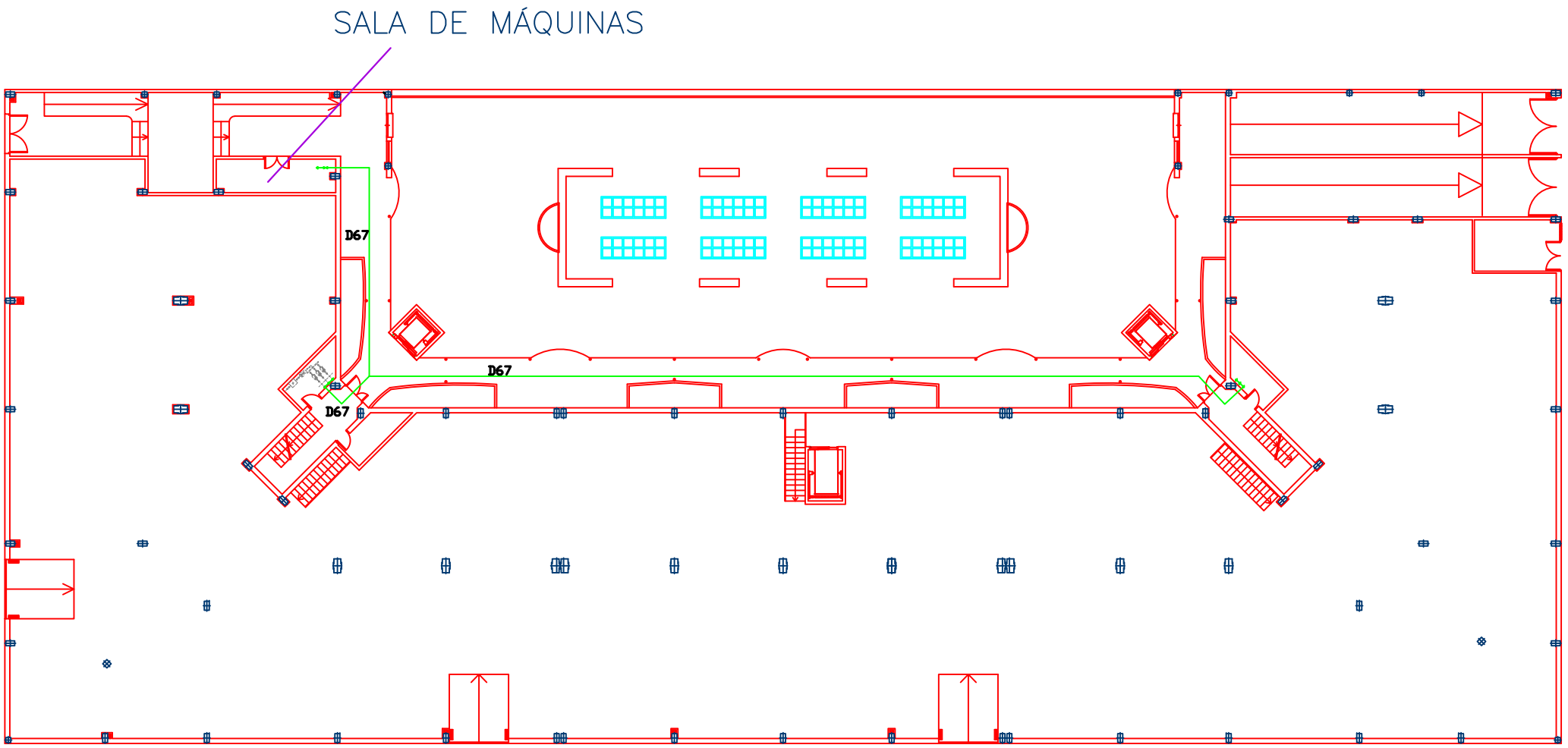
03

AUTOR: JUAN JOSÉ JIMÉNEZ-ORTA RIVERO

ESCALA: 1/300

FECHA: JULIO-2023

CAMPO CAPTADORES EN CUBIERTA



LEYENDA FONTANERIA.

- CANALIZACION AGUA CALIENTE
- LLAVE DE PASO
- LLAVE DE CORTE
- PUNTO DE AGUA FRIA
- MONTANTE

INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN UN BLOQUE DE VIVIENDAS EN SEVILLA.

PLANO nº

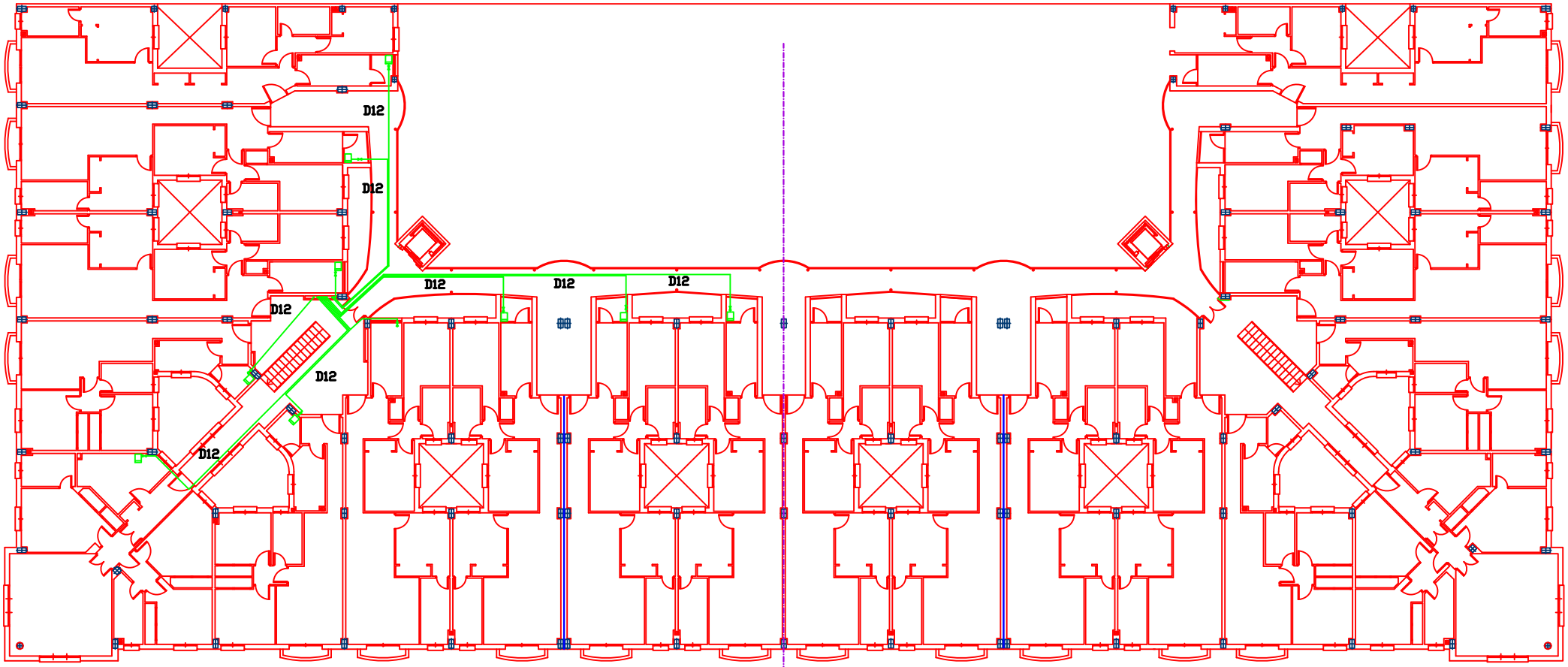
04

AUTOR: JUAN JOSÉ JIMÉNEZ-ORTA RIVERO

ESCALA: 1/300

FECHA: JULIO-2023

PLANTA BAJA



LEYENDA FONTANERIA.

- CANALIZACION AGUA CALIENTE
- LLAVE DE PASO
- LLAVE DE CORTE
- ø MONTANTE

INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN UN BLOQUE DE VIVIENDAS EN SEVILLA.

PLANO nº

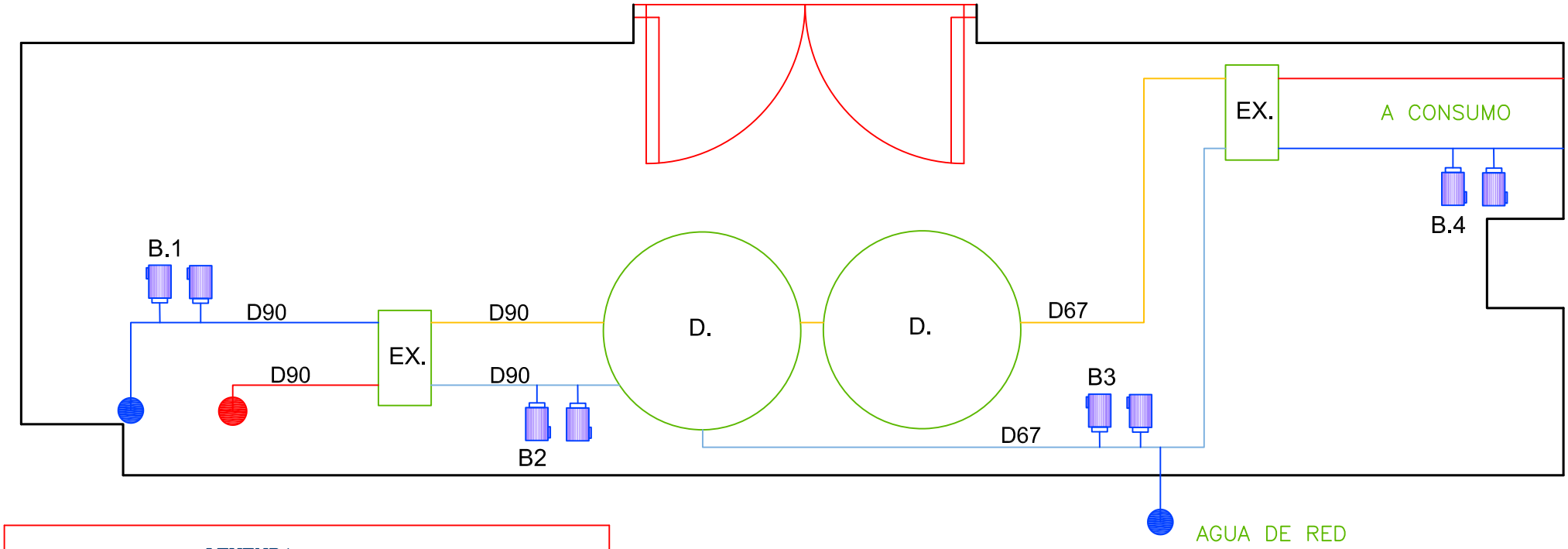
05

AUTOR: JUAN JOSÉ JIMÉNEZ-ORTA RIVERO

ESCALA: 1/300

FECHA: JULIO-2023

PLANTA TIPO



LEYENDA	
D	Acumuladores
B.1	Bomba de circulación primario
B.2	Bomba de circulación secundario
B.3	Bomba de circulación terciario
B.4	Bomba de circulación distribución
EX.	Intercambiadores

INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN UN BLOQUE DE VIVIENDAS EN SEVILLA.

PLANO nº

06

AUTOR: JUAN JOSÉ JIMÉNEZ-ORTA RIVERO

ESCALA: 1/25

FECHA: JULIO-2023

SALA DE MÁQUINAS