



INDICE.

| | |
|---|----|
| ANTECEDENTES..... | 3 |
| 1.1 OBJETO..... | 3 |
| 1.2 ALCANCE..... | 3 |
| 1.3 AUTOR..... | 4 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO..... | 4 |
| 1.5 IDEA DEL PROYECTO..... | 5 |
| 1.6 EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO..... | 5 |
| 1.6.1 DESCRIPCIÓN DE LOS VESTUARIOS..... | 7 |
| PROGRAMA DE NECESIDADES..... | 7 |
| 2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE APOYO SOLAR..... | 8 |
| 2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SOLAR..... | 11 |
| MEMORIA DESCRIPTIVA..... | 13 |
| 3.1 SISTEMA SOLAR..... | 15 |
| 3.1.1 CAPTADORES SOLARES..... | 15 |
| 3.1.1.1 LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN..... | 15 |
| 3.1.1.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE ACS..... | 17 |
| 3.1.1.3 CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA POR CONSUMO DE ACS..... | 20 |
| 3.1.1.4 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA APORTADA..... | 23 |
| 3.1.1.4.1 RADIACIÓN INCIDENTE..... | 23 |
| 3.1.1.4.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN, INCLINACIÓN, SOMBRAS E INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA..... | 25 |
| 3.1.1.4.3 CAPTADOR SOLAR..... | 32 |
| 3.1.1.5 DETERMINACIÓN FINAL DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA APORTADA..... | 44 |
| 3.1.1.6 DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN SOLAR..... | 46 |
| 3.1.1.7 COMPARACIÓN CON EL PROGRAMA DE CÁLCULO CHEQ4..... | 48 |
| 3.1.1.8 INSTALACIÓN EN LA CUBIERTA DE LOS CAPTADORES SOLARES..... | 57 |
| 3.1.2 AEROTERMO..... | 59 |
| 3.1.2.1 SELECCIÓN BOMBA AEROTERMO..... | 61 |
| 3.1.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA DEL PRIMARIO SOLAR..... | 64 |
| 3.1.4 SELECCIÓN DEL INTERACUMULADOR..... | 67 |
| 3.2 SISTEMA DE APOYO SOLAR..... | 68 |
| 3.2.1 SISTEMAS CON ACUMULACIÓN..... | 69 |
| 3.2.2 SELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS..... | 74 |



Trabajo Fin de Grado

| | |
|---|----|
| 3.2.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA DE LA VÁLVULA DE TRES VÍAS. | 76 |
| 3.2.4 SELECCIÓN DE BOMBA DEL CIRCUITO DE APOYO SOLAR. | 77 |
| 4. BIBLIOGRAFÍA. | 78 |
| 5. ANEJO 1. | 78 |



A la hora de presentar mi Trabajo Fin de Grado sobre la instalación de ACS en unos vestuarios de uso deportivo, tenemos que tener claro que dividiré mi memoria en diferentes partes describiendo en cada una de ellas los términos y conceptos concluyentes para la resolución de cualquier problema sobre mi proyecto.

ANTECEDENTES.

1.1 OBJETO.

El objeto de dicho proyecto consiste en la reinstalación del sistema de agua caliente sanitaria en unos vestuarios de uso estrictamente deportivo, en el cual se planteará el diseño de una instalación solar térmica como complemento para abastecer de agua caliente a dichos vestuarios.

1.2 ALCANCE.

En este proyecto se va a proceder a pensar y realizar todas las posibles mejoras de la presente instalación, con los consiguientes cálculos de dimensionamiento de la instalación del agua caliente sanitaria y los cálculos del dimensionamiento de la instalación de aprovechamiento de la energía solar térmica.

En primer lugar deberemos obtener como es lógico los datos en cuanto a consumo de agua caliente, para poder obtener la demanda energética necesaria, que tendremos que dividir entre lo que nos pueda aportar la radiación solar y lo que tendremos que dar del sistema general de calentamiento. Lo realizaremos en función del consumo de cada mes del año, ya que al ser una instalación deportiva habrá meses en los que su uso es inexistente, y deberemos de tener en cuenta que en ciertos meses, la radiación solar por el emplazamiento de nuestra instalación cambia por lo que tendremos meses con unos aportes mayores de energía solar que otros, que serán mucho menores.



1.3 AUTOR.

El autor del presente proyecto es el estudiante de cuarto curso del Grado en Tecnologías Industriales en la Universidad Pública de Navarra (UPNA), Alberto Blanco Aguilera.

1.4 JUSTIFICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.

El modelo energético a adoptar en el futuro es uno de los desafíos más importantes que deberá afrontar la humanidad en los próximos años. El modelo actual de desarrollo económico, de un crecimiento continuo de la mayoría de aspectos de nuestra sociedad basado en el uso de manera incontrolada de los recursos energéticos de origen fósil es hoy por hoy insostenible. Ha llegado un momento en el que la sociedad del consumo en la que nos hemos adaptado perfectamente a vivir, se está tambaleando, y uno de sus principales pilares como son los combustibles fósiles están comenzando a agotarse.

Todo ello viene agravado por el impacto medioambiental que producen dichos combustibles, que ha hecho levantarse a mucha gente en contra de su uso indiscriminado en tiempos anteriores, lo que hace que se emprenda un cambio tanto en el pensamiento de la sociedad como en el modelo económico que tiende hacia un desarrollo sostenible para garantizar a su vez el progreso social y el uso racional de los recursos, utilizando plenamente las energías renovables.

Por ello he intentado de forma exhaustiva la mejora de la red del sistema del ACS, implementando mejoras con las placas solares, que como ya he argumentado, considero que es una forma idónea de mejorar cualquier instalación presente referida al calentamiento de agua a través de la energía solar.

Además la iniciativa de instalar placas solares se vió claramente favorecida por el Ayuntamiento de Pamplona, que viene desarrollando en los últimos años a través de la Agencia Energética Municipal de Pamplona una política de fomento e implantación de esta energía renovable. Este desarrollo solar no ha sido fruto del azar ni de un plan de fomento descontrolado por parte



de las autoridades, sino que se ha realizado un proceso previo planificado para el establecimiento de dicha apuesta energética en la zona para garantizar el éxito.

Como último punto de justificación de la elección de implantación de dichos paneles solares, podremos decir que España dispone de una situación geográfica inmejorable para aprovechar al máximo la radiación solar como fuente de energía, a pesar de que nuestro proyecto en concreto se sitúe al Norte del país, podemos aprovechar de mejor manera que en otros lugares del mundo dicha forma de energía en diferentes aplicaciones como es la generación de ACS, climatización, refrigeración....

1.5 IDEA DEL PROYECTO.

La idea de desarrollar dicho proyecto me surge en cuanto que yo soy utilitario habitual de dichos vestuarios al practicar deporte en dichas instalaciones, de manera que se me ocurrió realizar la posible renovación de los mismos al tratarse de un tema que me gusta y considero que puede ser muy útil.

Las energías renovables llevan ya un cierto tiempo en pleno auge, y de la mayoría se ha avanzado muy rápido sobre la materia, y personalmente considero que de igual forma que se ha conseguido que la obtención de energía por medio de combustibles fósiles se algo muy común y muy utilizado en la actualidad, me gustaría poder seguir trabajando e innovando en estas nuevas tecnologías para poder suplantar de manera completa dichos combustibles percederos. Es un momento complicado por la situación económica actual, pero es un momento en el que no podemos parar de seguir investigando, ya que si se paran por completo dichas investigaciones, puede ser que se paren de manera ininterrumpida, algo que sería muy perjudicial para nosotros y el Planeta.

1.6 EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO.

El lugar elegido para realizar mi reinstalación ha sido el Colegio Luis Amigó, que se encuentra en la localidad de Mutilva Baja, situado concretamente en la carretera de Tajonar a la altura del Kilómetro 2.

Los vestuarios en los que nos vamos a centrar se encuentran ubicados de forma independiente al edificio principal del colegio, situados cerca de los dos campos de fútbol pertenecientes al colegio Luis Amigó. Por tanto, se trata de un edificio independiente, y no es colindante a ningún otro edificio por sus cuatro costados.



Ilustración 1: situación general Colegio Amigó.

La zona de vestuarios se encuentra como ya hemos dicho alejada del edificio principal, al lado contrario de la parcela, como podemos ver en la Ilustración 2 con más detalle:



Ilustración 2: vista vestuarios.

Es importante la localización Norte-Sur de nuestro edificio para posteriores cálculos en la colocación de los captadores solares.



1.6.1 DESCRIPCIÓN DE LOS VESTUARIOS.

En dicho edificio vamos a encontrarnos con un total de nueve vestuarios. Lo que ocurre es que no todos los vestuarios son iguales, sino que uno de ellos corresponde al vestuario para los entrenadores de todas las categorías de fútbol, por lo que dicho vestuario va a tener un número superior de duchas.

Los vestuarios para los jugadores van a tener un total de siete duchas por vestuario, mientras que el vestuario de entrenadores tendrá nueve duchas.

Por tanto, el diseño de la instalación de nuestro proyecto final de aprovechamiento de la energía solar deberá proporcionar agua caliente sanitaria (ACS) para intentar cubrir las necesidades de agua caliente de los usuarios de los vestuarios.

Lo que nos va a interesar sobre todo a nosotros en cuanto a la implantación de los paneles solares será la superficie total disponible para colocar de forma adecuada nuestros captadores sin que existan diferentes pérdidas que puedan afectar al funcionamiento idóneo de los mismos. Dicha superficie es aproximadamente de 78 m² (6mx13m).

PROGRAMA DE NECESIDADES.

En este apartado describiremos las partes fundamentales de todos los elementos necesarios para llevar a cabo la instalación de nuestro sistema de ACS. Debemos tener en cuenta que en este caso diferenciaremos por una parte los elementos necesarios para la instalación solar y los elementos que son necesarios para proporcionar ACS cuando nuestro sistema no pueda obtener la energía suficiente de una fuente como el Sol.

Los sistemas solares térmicos para el suministro de agua caliente sanitaria pueden clasificarse según la forma de transferencia energética entre el circuito de captadores y el circuito de consumo. Si existe conexión física entre ambos circuitos, se denomina *sistema directo*, esto es que el agua de consumo es la que circula por los captadores solares. Mientras que el *sistema indirecto*, el circuito primario (captadores) y el circuito secundario (de consumo) son independientes, produciéndose la transferencia energética entre ambos por un intercambiador, y no por la propia mezcla de fluidos.



Lo que ocurre es que en España, el CTE sólo permite la instalación de sistemas solares indirectos. El circuito de captadores es un circuito cerrado. En este apartado describiremos los elementos necesarios para cada uno de estos circuitos.

A su vez, luego tendremos elementos intermedios entre los dos sistemas, que se verán regulados a través de un sistema interno de control completamente automatizado, que será capaz de determinar cuándo entrará en funcionamiento un sistema u otro.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE APOYO SOLAR.

El primer concepto general que debemos tener muy en cuenta para este tipo de instalaciones en la que tenemos parte de la energía proporcionada por un sistema de energía solar, es que a la hora de determinar la calidad y dimensión de los componentes, tendremos que pensar en el caso más desfavorable, es decir, como si no contásemos con la energía solar, ya que puede darse el caso perfectamente, sobre todo en esta zona del país y en las épocas invernales, en las que la radiación solar sea escasa o nula durante varios días, de manera que deberemos ser capaces de calentar el agua. Los elementos fundamentales en el sistema de apoyo son:

- Caldera: como ya hemos comentado, en función de la normativa, la caldera debe tener la potencia necesaria como para poder trabajar de forma continuada sin necesidad de recurrir al posible aporte del sistema solar. La potencia de la caldera vendrá determinada en función del consumo, como se verá en el sucesivo apartado de dimensionamiento. A su vez, debemos mencionar que para este tipo de instalaciones, lo más conveniente es instalar una caldera de gas natural para baja temperatura.
- Configuración del sistema de apoyo: el sistema de apoyo se encontrará formado por todos aquellos elementos que harán transferir la potencia que suministra nuestra caldera hasta el intercambiador de consumo. En este sistema tendremos a su vez varios elementos, como puede ser la



bomba de primario que es la encargada de bombear el agua de la caldera hasta el intercambiador. En este caso, tendremos previamente colocada una aguja hidráulica, que se trata de un sistema de regulación del caudal, que se coloca sencillamente por prevención y una regulación mejor del caudal transmitido. Igualmente, tendremos una válvula de tres vías, que se encuentra conectada a nuestro sistema de control, de tal forma que dicha válvula sea capaz de recircular el agua de la caldera cuando no sea necesaria en función del control de temperaturas. Por tanto, con dichos elementos, que se verán complementados por diferentes sondas de temperaturas para la regulación de las necesidades de la instalación para cada una de las situaciones que podremos tener, llegamos al intercambiador de consumo de ACS, que será un intercambiador de placas que describiremos más tarde.

- Tuberías de conexión: para las tuberías de conexión de la caldera con el intercambiador mencionado anteriormente, tendremos que el caudal de referencia a partir del cual determinaremos su diámetro será el caudal de consumo. En función de la longitud establecida determinaremos la pérdida de carga unitaria y estableceremos como veremos en los cálculos más tarde la elección de un diámetro nominal.
- Aislamiento: el aislamiento tendrá la función principal de proteger a dichas tuberías sin excesiva pérdida de calor. La elección del tipo de aislamiento vendrá determinado por la dimensión de tubería que hayamos determinado para el sistema de captación.
- Válvulas: tendremos diferentes tipos de válvulas a instalar a lo largo del sistema, que distinguiremos por la función que realizan en el mismo.
 - ❖ **Válvulas de corte**: estas válvulas las instalaremos tanto a la entrada y salida de la



caldera, del intercambiador, de la bomba y por cada una de la de las canalizaciones de llenado. Estas válvulas, como su propio nombre indica, las colocaremos de forma que seamos capaces de aislar cada uno de los elementos de forma que podamos sustituirlos en caso de avería o mal funcionamiento. La selección de dichas válvulas vendrá determinado por la sección de tubería.

- ❖ **Válvulas anti-retorno:** estas válvulas las colocaremos tanto en la aspiración y la impulsión de la bomba, así como en el sistema de llenado.
- **Equipos de medida:** estos equipos de medida serán muy necesarios para el sistema de regulación y control general de nuestra instalación. A partir de la información que aporten dichos elementos, el sistema será capaz de determinar las necesidades generales. Diferenciaremos entre:
 - **Termómetros:** los colocaremos en los puntos críticos del sistema de apoyo, como pueden ser la aspiración e impulsión de la bomba, y lógicamente tanto a la entrada y salida del intercambiador de consumo que nos determinará cómo se está regulando el sistema.
 - **Manómetros:** los manómetros los colocaremos como no puede ser de otra forma en la aspiración e impulsión de la bomba. De igual forma colocaremos otros dos en la entrada y salida de nuestro intercambiador de consumo.



- Bomba circuladora: la bomba del sistema primario que hayamos colocado en función de los cálculos que más tarde determinaremos, deberá ser una bomba elegida capaz de suministrar la suficiente potencia para vencer las pérdidas de carga de la tubería (que también determinaremos posteriormente), las pérdidas secundarias y las pérdidas del intercambiador de consumo. Para la determinación de nuestra bomba, utilizaremos el caudal nominal de circulación que anteriormente hemos calculado y utilizado para las tuberías.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SOLAR.

En este apartado pasaremos a describir los componentes fundamentales necesarios para el correcto funcionamiento de nuestra instalación solar.

- Sistema de captación: se encarga de transformar la radiación solar en energía térmica. Este sistema a su vez se verá integrado por diferentes elementos como pueden ser los propios captadores solares, que será el componente fundamental de la instalación, la estructura de soporte de los captadores solares (dicha estructura viene generalmente determinada en función del captador elegido), un aerotermo que será el encargado de proteger a la instalación de sobre-calentamientos debido a la baja demanda de ACS en un período de tiempo que coincide a su vez con una alta radiación, bombas para hacer llegar el fluido calor-portante a todos los puntos del circuito y elementos necesarios como válvulas, tuberías de conexión, equipos de medida, sistemas de llenado y vaciado.
- Sistema de acumulación e intercambio: se encuentra formado principalmente por un inter-acumulador que se refiere un tipo de depósito con un serpentín en su interior. De forma que el fluido primario circula por el serpentín y se produce la transferencia de calor al agua del depósito. Vamos a necesitar de nuevas bombas circuladoras y una



válvula de conexión de tres vías, para determinar el paso del fluido primario a nuestro depósito o impedirlo en función del sistema de regulación, ya que no nos interesa que se caliente más el agua, y dicha válvula conduzca al fluido caloportador al aerotermo anteriormente mencionado.

- Sistema de regulación y control: junto a los dos principales sistemas de producción de ACS, toda instalación solar térmica debe disponer de un sistema de regulación y control.

El sistema de regulación y control se encarga de asegurar el correcto funcionamiento de la instalación para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y de la protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamiento del sistema, posibles congelaciones...

Por último, en una visión general del proyecto, para el presente proyecto he optado por una tipología de la instalación centralizada. Esta es una característica muy importante a tener en cuenta en nuestro programa de necesidades, ya que nos ofrece una serie de ventajas como son:

- ❖ Mayor simplicidad de la instalación debido a que el espacio donde integraremos nuestro sistema no se considera excesivamente elevado.
- ❖ Esta mayor simplicidad implica a su vez unas pérdidas menores en los diferentes sistemas, por lo tanto un rendimiento mayor. Esto se aprecia claramente ya que cuantos menos subsistemas tenga cualquier instalación, menos pérdidas debidas a la transferencia de potencia de un subsistema a otro.
- ❖ Influye en que tengamos unos costes menores globales, ya que el número de elementos a instalar es menor.

MEMORIA DESCRIPTIVA.

Una vez descritas las principales características de las instalaciones solares térmicas, tanto la propia instalación solar como su sistema de apoyo, nos centraremos en describir los pasos necesarios para su diseño.

Primero antes de comenzar el dimensionado de nuestra instalación, debemos presentar un esquema general:

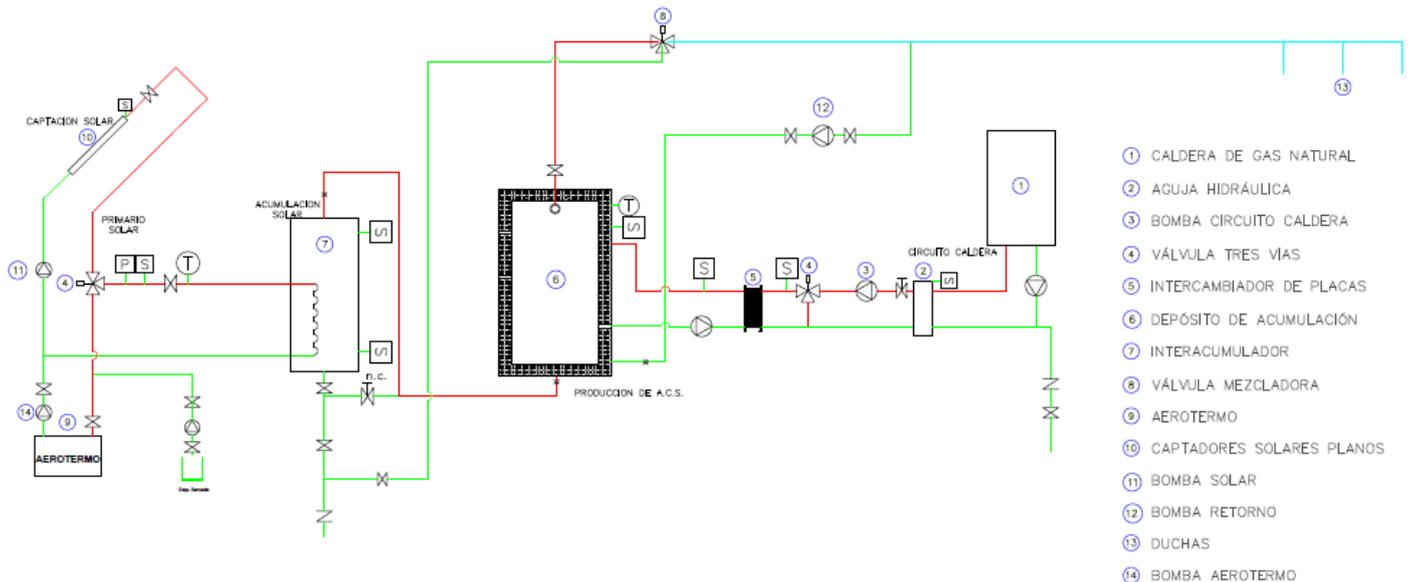


Ilustración 3: esquema general.

En el anejo 1 de planos podemos ver dicho esquema de forma más clara. Vemos en la zona izquierda de la imagen el sistema solar y en la parte derecha de la misma el sistema de apoyo. El funcionamiento de este complejo viene regulado principalmente por un sistema de control. Este sistema será básicamente quien haga funcionar a los diferentes elementos.

Nuestro objetivo principal es el calentamiento de agua, de forma que en función de la información que se recibe de las sondas, el sistema pone en funcionamiento un modo de calentar el agua de la red u otro. Esto depende básicamente del sistema solar, si la radiación que capta puede ser suficiente para que el sistema de apoyo no entre en funcionamiento. Generalmente esto no suele ocurrir, ya que muchas veces nos interesa calentar el agua en un cierto tiempo, y por si acaso se tiene una cierta cantidad de agua caliente a través de la caldera en su depósito de acumulación.



Tras esta breve explicación, comenzamos la descripción de los diferentes elementos.

El punto de partida a la hora de comenzar a proyectar se encuentra en la exigencia de aporte solar que viene marcada por la normativa que actualmente se encuentra en vigor, el CTE, en el *Documento Básico de Ahorro de la Energía*, sección 4 *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria* (CTE DB HE4). Incluso a la hora de realizar el propio diseño de mi instalación he tenido en cuenta el *Pliego de Condiciones Técnicas* del IDAE, que aunque no se trata de un pliego de obligado cumplimiento, se utiliza como una buena guía técnica que orienta y permite que si el propio proyectista ha tenido en cuenta este Documento, se encuentra más cerca de cumplir los requisitos necesarios regulados por el CTE.

Los datos de entrada que se utiliza en el dimensionado y diseño de cualquier instalación son:

- La **demanda energética** total requerida por los vestuarios, que obtendremos como veremos en capítulos posteriores, por una serie de estimaciones que relacionan el consumo de agua caliente en función de las personas que vayan a utilizar dichos vestuarios y el salto térmico que se produzca entre el agua de red y la temperatura a la que queramos calentar el agua.
- La **energía solar disponible** en el lugar de instalación. Habrá que tener en cuenta múltiples factores, como posibles pérdidas térmicas de los captadores, pérdidas por sombreado, la inclinación y orientación de los mismos...

En función de la demanda de agua y de la ubicación de nuestra instalación determinaremos la contribución solar requerida. Para saber el número de captadores o lo que es lo mismo la superficie total de captadores, aplicaremos diferentes métodos de cálculo que posteriormente compararemos con un método de cálculo de instalaciones solares utilizados por el sector, el CHEQ4. Además este programa nos servirá de guía final para ver si nuestra instalación ha sido diseñada correctamente.



3.1 SISTEMA SOLAR.

Comenzaremos por el diseño y dimensionado de nuestro sistema primario, describiendo cada uno de los elementos necesarios: captadores solares, bombas, aerotermo e interacumulador.

3.1.1 CAPTADORES SOLARES.

Los captadores solares son los elementos más complejos de describir en toda nuestra instalación. Tendremos que tener en cuenta muchos parámetros que a continuación iremos describiendo poco a poco.

3.1.1.1 LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN.

La necesidad de diversificar el uso de fuentes de energía y reducir en lo posible el consumo de recursos convencionales, como el gas natural o el gasóleo, ha provocado un aumento importante en el número de instalaciones solares y también ha ido aumentando su tamaño. En nuestro caso como vemos, considero muy interesante la implantación de dicho tipo de sistema de generación de energía, ya que al ser una instalación de uso continuado durante la mayor parte del año, el coste de la inversión inicial puede ser elevado, pero a la larga se recupera de forma satisfactoria ya que estas instalaciones son muy eficientes y favorables al ahorro de los recursos más convencionales y utilizados hasta el momento.

En primer lugar debe quedar claro el ámbito de aplicación de la normativa actual, en el Documento Básico HE4 del CTE, que trata sobre la contribución solar mínima de ACS que como se indica en el propio documento: *“es aplicable a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes de cualquier uso en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscina cubierta”*. Por tanto este documento solo establece los mínimos que son necesarios cumplir.

Existe un procedimiento de verificación del cumplimiento de CTE DB HE4, de forma que cualquier instalación será verificada siguiendo los siguientes pasos:

1. Obtención de la contribución solar mínima.
2. Cumplimiento de las condiciones de diseño y dimensionado.

3. Cumplimiento de las condiciones de mantenimiento. (En este TFG sobre todo nos vamos a centrar en desarrollar los dos primeros puntos de verificación)

En este punto ya comienzan a aparecer conceptos que deberemos empezar a tener en cuenta, como pueden ser la **contribución solar** o **fracción solar**, que es el cociente que relaciona los valores anuales de energía solar aportada y la demanda energética anual. El CTE DB HE4 exige que toda edificación que se acoge a su ámbito de aplicación disponga de una instalación solar térmica que sea capaz de suministrar una contribución solar mínima. El valor de la fracción solar para cada instalación deberá tener en cuenta la zona climática en la que nos encontremos y del nivel de demanda de agua caliente sanitaria para una temperatura de referencia de 60°C. Consultando al CTE DB HE4, las tablas que nos proporciona nos determinará la fracción solar mínima en función de la demanda total de ACS de nuestros vestuarios ($m^3/día$) y de la zona climática en la que se encuentra Pamplona.

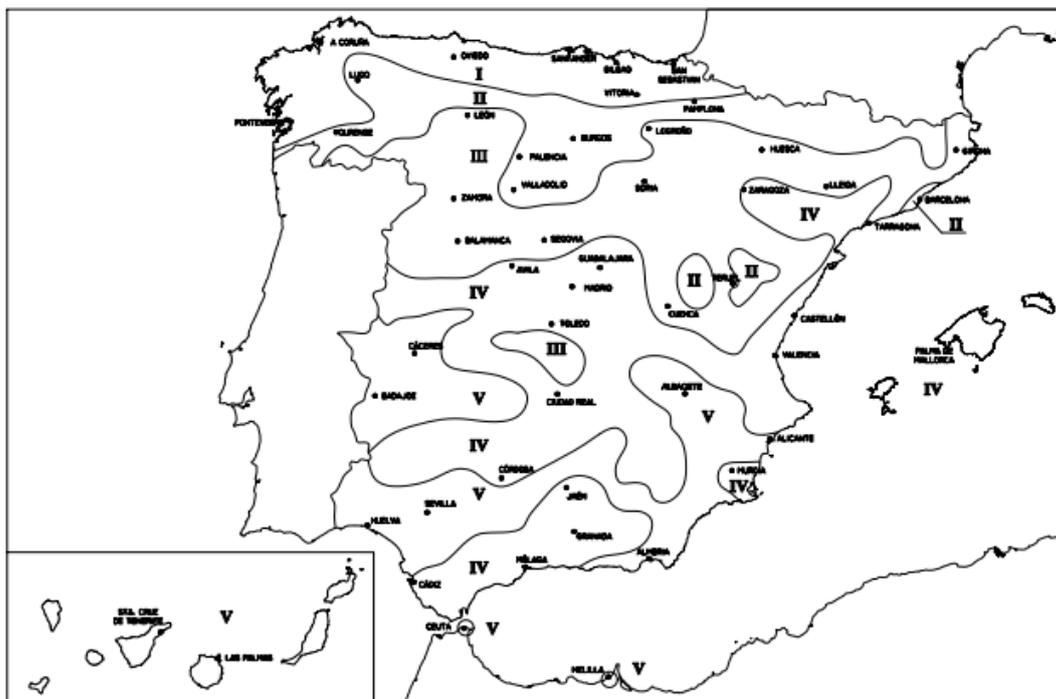


Ilustración 4: Zonas climáticas.

Como podemos observar, Pamplona se encuentra en la zona climática II. Por lo que conociendo que la demanda total de ACS es $6m^3/día$, vemos que en función de las tablas nuestra contribución solar mínima es del 30%.

Tabla 2.1. Contribución solar mínima en %. Caso general

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

Ilustración 5: fracción solar mínima.

Cabe mencionar por último que el CTE DB HE4 establece dos categorías dependiendo de cuál sea la fuente de generación auxiliar. Así que en nuestro caso se trata de generación auxiliar general, es decir, la fuente de apoyo energética es gas natural. La otra diferenciación es que la generación auxiliar se produzca por efecto Joule, es decir, que se genere electricidad mediante el efecto Joule, como es el caso de calentamiento por resistencias eléctricas. El motivo por el que he elegido una forma de generación eléctrica convencional es que si nos fijamos en los valores de contribución solar mínima para el caso del efecto Joule, se tiene una exigencia mucho mayor de aporte solar, por tanto, como es lógico para nuestra localización geográfica, tendremos un tipo de generación auxiliar de tipo general.

3.1.1.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE ACS.

A la hora de diseñar tanto el circuito solar como el circuito auxiliar, va a ser necesario determinar la demanda de ACS que va a requerir nuestra instalación. Como ya hemos visto en la parte descriptiva de nuestros vestuarios, nos centraremos en dimensionar nuestra instalación para satisfacer un número determinado de servicios de nuestras duchas.

Para determinar el número de servicios que se realizan en las instalaciones de Amigó, al ser unos vestuarios utilizados únicamente por equipos de fútbol y sabiendo que comienzan a funcionar desde las 17:00 hasta las 22:30 horas cada día de la semana, de forma que pasan hasta tres equipos con una media de 14 jugadores, estimamos por ello que el número de servicios será de 400.



Trabajo Fin de Grado

De manera que consultando el CTE DB HE4, se establece un consumo medio por ducha de 15L ACS/día a 60°C.

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)

| Criterio de demanda | Litros ACS/día a 60° C | |
|---|------------------------|-------------------|
| Viviendas unifamiliares | 30 | por persona |
| Viviendas multifamiliares | 22 | por persona |
| Hospitales y clínicas | 55 | por cama |
| Hotel **** | 70 | por cama |
| Hotel *** | 55 | por cama |
| Hotel/Hostal ** | 40 | por cama |
| Camping | 40 | por emplazamiento |
| Hostal/Pensión * | 35 | por cama |
| Residencia (ancianos, estudiantes, etc) | 55 | por cama |
| Vestuarios/Duchas colectivas | 15 | por servicio |
| Escuelas | 3 | por alumno |
| Cuarteles | 20 | por persona |
| 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 |

Ilustración 6: consumo medio de ACS para duchas.

Teniendo en cuenta el uso de los vestuarios para cada mes del año, sabemos que por ejemplo en los meses de verano se mantendrán cerrados, por lo que la demanda es nula, y que a su vez en el mes de Agosto la demanda también es más baja al resto de meses normales, ya que no todos los equipos de fútbol comienzan al mismo tiempo la temporada, de forma que como se aprecia en la siguiente tabla tendremos el consumo medio de un día de cada mes y el consumo global por mes. Estos cálculos resultan simplemente de multiplicar el número de servicios por la demanda de referencia a 60°C.

| MESES | DEMANDA(L/día a 60°C) | Número de días por mes. | DEMANDA MENSUAL (L/mes a 60°C) |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Enero | 6000 | 31 | 186000 |
| Febrero | 6000 | 28 | 168000 |
| Marzo | 6000 | 30 | 180000 |
| Abril | 6000 | 31 | 186000 |
| Mayo | 6000 | 30 | 180000 |
| Junio | 0 | 31 | 0 |
| Julio | 0 | 30 | 0 |
| Agosto | 4500 | 31 | 139500 |
| Septiembre | 6000 | 30 | 180000 |
| Octubre | 6000 | 31 | 186000 |
| Noviembre | 6000 | 30 | 180000 |
| Diciembre | 6000 | 31 | 186000 |

Y como vemos para obtener la demanda en litros para cada mes, solamente multiplicamos la demanda de un día característico por el número de días que tiene cada mes. Obteniendo una demanda anual total de 1771500 litros.

En el gráfico que se presenta a continuación puede verse de manera clara el consumo de ACS a lo largo de un año.

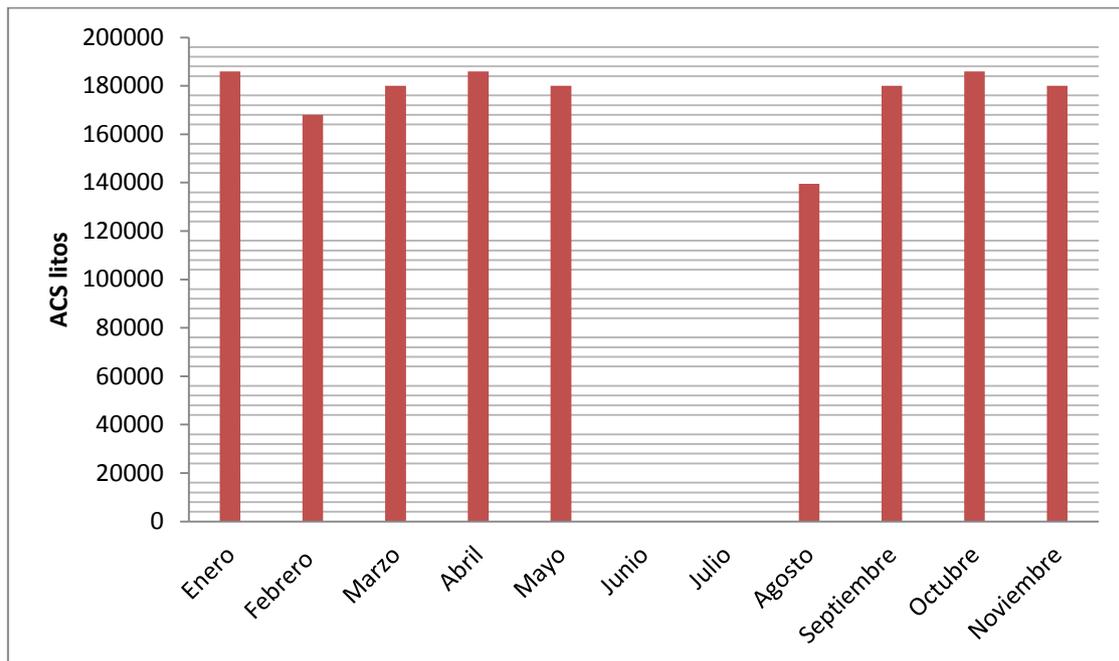


Ilustración 7: evolución mensual de ACS.

Según lo que se establece en el CTE, para una correcta asignación de la fracción solar mínima que debe satisfacer nuestra instalación, deberemos considerar siempre la demanda a una temperatura de referencia de 60°C. En nuestro caso, hemos tomado como aceptable esta temperatura de referencia. Lo que sobre todo nos hace en nuestro caso tomar esta temperatura es para prevenir la legionelosis. (La legionelosis se trata de una enfermedad altamente infecciosa por una bacteria acuática que generalmente se encuentra para unas temperaturas de entre 25°C y 45°C, por lo que si tomamos como temperatura de referencia los 60°C, nos prevenimos de los riesgos que pueda ocasionar dicha bacteria).

Además sabemos que una temperatura de acumulación inferior mejora el rendimiento de la instalación, ya que existirá un mayor salto térmico en el intercambiador de calor, pero lo que ocurre es que aumenta el volumen de acumulación para conseguir almacenar la misma carga térmica y puede como ya hemos dicho aparecer el peligro por la legionela.

3.1.1.3 CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA POR CONSUMO DE ACS.

Una vez estimado el consumo de agua caliente, el siguiente paso consiste en calcular cuánta energía requiere su calentamiento desde las condiciones del agua de red hasta su temperatura de red.

Tenemos que tener claro que la temperatura de utilización del agua es diferente a la temperatura final de calentamiento en nuestro acumulador. Como hemos visto, el agua por motivos sanitarios debe calentarse a una temperatura más alta que la que se utiliza para ducharse, ya que el agua de acumulación se mezcla con agua fría a través de una válvula de tres vías, y se obtiene la temperatura final de uso.

Para la estimación de la demanda energética consideraremos el salto térmico completo, es decir, la diferencia de temperaturas que se producirá desde la temperatura a la que venga el agua de red y la temperatura del acumulador. Debemos tener en cuenta que la temperatura del agua de red varía para cada mes. A su vez este dato lo hemos tomado del pliego de condiciones del IDAE:

34 NAVARRA 5 6 8 10 11 12 13 12 11 10 8 5 9,3

Ilustración 8: temperaturas del agua de red/mes.

Por tanto lo que utilizaremos para calcular la demanda energética diaria será:

$$DE, \text{ diaria} = C_p * (T_{acs} - T_{red}) * \rho * \text{Consumo diario}$$

Al tener agua, sabemos que:

- $C_p=4,18 \text{ KJ/kgK}$
- $\rho=1000\text{kg/m}^3$



Trabajo Fin de Grado

- Consumo diario, lo obtenemos de los datos anteriores de la demanda de ACS (litros)

Por tanto los resultados los obtendremos para un día característico de cada mes. Por lo que para conocer la demanda energética mensual, multiplicamos dichos valores por los días de cada mes, de igual manera que hemos hecho anteriormente para la demanda de ACS

| MES | T ^{red} (°C) | Demanda energética diaria(KJ) | Días de cada mes | Demanda energética mensual(KJ) |
|------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|
| ENERO | 7 | 1329240 | 31 | 41206440 |
| FEBRERO | 8 | 1304160 | 28 | 36516480 |
| MARZO | 9 | 1279080 | 30 | 38372400 |
| ABRIL | 10 | 1254000 | 31 | 38874000 |
| MAYO | 12 | 1203840 | 30 | 36115200 |
| JUNIO | 15 | 0 | 31 | 0 |
| JULIO | 17 | 0 | 30 | 0 |
| AGOSTO | 17 | 808830 | 31 | 25073730 |
| SEPTIEMBRE | 16 | 1103520 | 30 | 33105600 |
| OCTUBRE | 13 | 1178760 | 31 | 36541560 |
| NOVIEMBRE | 9 | 1279080 | 30 | 38372400 |
| DICIEMBRE | 7 | 1329240 | 31 | 41206440 |

Esta demanda energética la podemos observar de forma más clara en la siguiente gráfica:

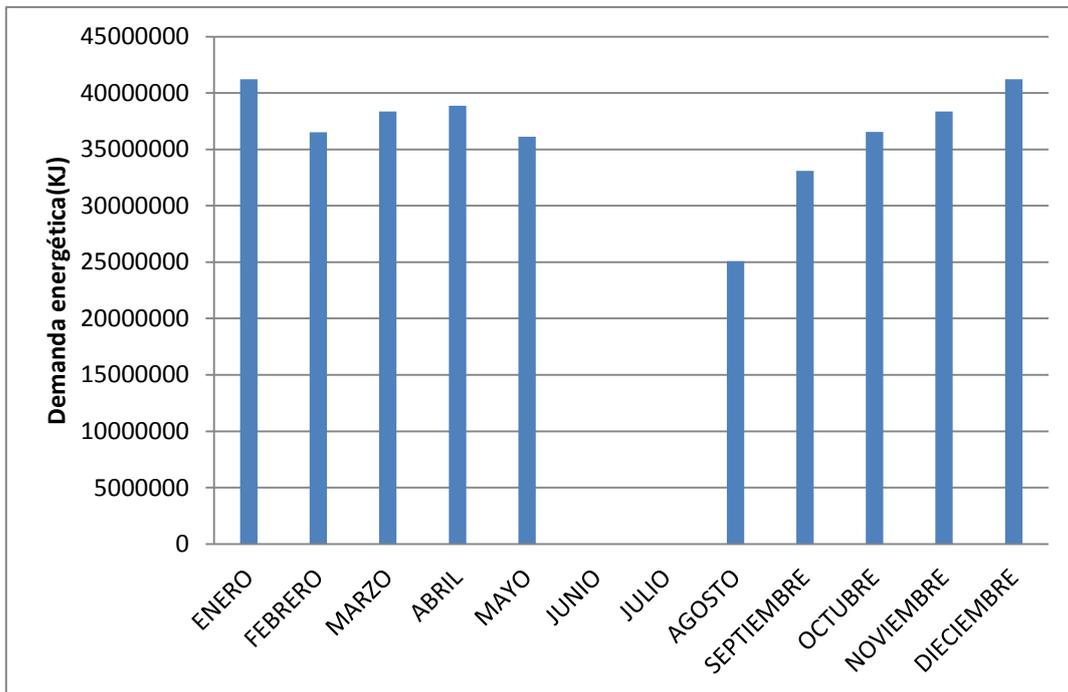


Ilustración 9: demanda energética mensual.

Como sabemos, para el cálculo de la fracción solar necesitaremos los datos anuales, por tanto, la demanda energética anual es de 36538425 KJ.

En función de esta gráfica se puede observar que para un consumo de agua más o menos constante a lo largo del año, la demanda energética va disminuyendo conforme nos vamos acercando a los meses de verano. Ya sabemos que en los dos meses de Junio y Julio las instalaciones se van a encontrar completamente cerradas, por lo que nos referimos sobre todo a los meses más próximos a la estación estival como mayo y Agosto. Esta disminución de necesidad energética se basa en que el agua de red en estos meses está más caliente, y por tanto se produce un salto térmico menor. A todo esto se suma que la intensidad de radiación para estos meses de verano es mayor, justamente cuando nuestra instalación está bloqueada.

Para estas condiciones, como podremos ver más adelante, nuestra instalación debe ser capaz de proporcionar la contribución anual mínima establecida por el CTE pero sin generar excedentes excesivos en otras épocas del año que provocarían un aumento de las temperaturas y un mayor riesgo de

estancamiento de los captadores y una degradación mayor de los componentes. Este excedente vendrá limitado por la propia acción del aerotermo, que describiremos posteriormente.

3.1.1.4 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA APORTADA.

La energía calorífica que una instalación solar aporta al agua de consumo sólo la podremos obtener a partir de la radiación incidente, y consecuentemente conoceremos nuestra radiación incidente en función del número de captadores previstos, que es un dato de diseño que elegiremos como proyectista.

Como ya hemos comentado, en nuestro proyecto tendremos un programa de ayuda que lo utilizaremos como medio de comparación, y en este proyecto también introduciremos un número previsto de captadores solares. Lo que podremos ver al final al comparar tendremos que el número de captadores es distinto en ambos casos, sabiendo ya de antemano que en nuestro caso obtendremos un número de captadores menores ya que el método de cálculo tendrá en cuenta una serie de aspectos que nosotros es muy difícil de tomarlas en consideración para un proyecto como este. Por tanto, el análisis mensual de la aportación del sistema se debe realizar para una superficie de captación determinada previamente.

De forma que la energía solar térmica aportada dependerá claramente de la superficie de captación, pero también va a depender de la zona en la que nos encontremos, de la inclinación de los propios captadores, del rendimiento del captador...Existen muchos factores como vemos, de forma que iremos describiendo cada uno de ellos de forma individual.

3.1.1.4.1 RADIACIÓN INCIDENTE.

Los datos de la radiación incidente sobre nuestra instalación dependerá como ya hemos dicho de la zona geográfica en la que nos encontremos, de forma que vamos a tener que para en concreto, para Navarra según el *Pliego de condiciones del IDAE* tendremos unos valores de radiación de MJ/m² en un día medio de cada mes.

34 NAVARRA 5 7,4 12,3 14,5 17,1 18,9 20,5 18,2 16,2 10,2 6 4,5 12,6

Ilustración 10: valores de radiación en Navarra.

Estos valores de radiación están tomados sobre un metro cuadrado en una superficie horizontal. Pero como sabemos, los captadores solares van a tener una cierta inclinación. De forma que estos datos cambian. Según el *Pliego de Condiciones del IDAE* vamos a tener un factor de corrección k , que representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. Por tanto, sabemos que Pamplona se encuentra en una latitud aproximada de 41° , y podemos adelantar que nuestros captadores se encontrarán 50° inclinado respecto a la superficie horizontal. Los valores los cogemos de dicha tabla:

LATITUD = 41°

| Incli. | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,03 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,03 | 1,05 | 1,08 | 1,09 | 1,09 |
| 10 | 1,14 | 1,12 | 1,09 | 1,06 | 1,03 | 1,02 | 1,03 | 1,06 | 1,1 | 1,15 | 1,18 | 1,17 |
| 15 | 1,21 | 1,17 | 1,12 | 1,07 | 1,04 | 1,03 | 1,04 | 1,08 | 1,14 | 1,21 | 1,26 | 1,24 |
| 20 | 1,26 | 1,21 | 1,15 | 1,08 | 1,04 | 1,02 | 1,04 | 1,09 | 1,17 | 1,27 | 1,33 | 1,31 |
| 25 | 1,31 | 1,24 | 1,17 | 1,09 | 1,03 | 1,01 | 1,03 | 1,1 | 1,2 | 1,32 | 1,39 | 1,37 |
| 30 | 1,35 | 1,27 | 1,18 | 1,08 | 1,01 | 0,99 | 1,02 | 1,09 | 1,21 | 1,35 | 1,44 | 1,42 |
| 35 | 1,38 | 1,29 | 1,18 | 1,07 | 0,99 | 0,96 | 0,99 | 1,08 | 1,22 | 1,38 | 1,49 | 1,47 |
| 40 | 1,4 | 1,3 | 1,18 | 1,05 | 0,96 | 0,93 | 0,96 | 1,06 | 1,22 | 1,4 | 1,52 | 1,5 |
| 45 | 1,42 | 1,3 | 1,16 | 1,03 | 0,93 | 0,89 | 0,93 | 1,04 | 1,21 | 1,41 | 1,55 | 1,52 |
| 50 | 1,42 | 1,3 | 1,14 | 0,99 | 0,88 | 0,84 | 0,88 | 1,01 | 1,19 | 1,41 | 1,56 | 1,54 |
| 55 | 1,42 | 1,28 | 1,12 | 0,95 | 0,83 | 0,79 | 0,84 | 0,97 | 1,17 | 1,41 | 1,57 | 1,54 |
| 60 | 1,41 | 1,26 | 1,08 | 0,91 | 0,78 | 0,73 | 0,78 | 0,92 | 1,14 | 1,39 | 1,56 | 1,54 |
| 65 | 1,39 | 1,23 | 1,04 | 0,85 | 0,72 | 0,67 | 0,72 | 0,87 | 1,09 | 1,36 | 1,54 | 1,53 |
| 70 | 1,36 | 1,19 | 0,99 | 0,8 | 0,66 | 0,61 | 0,66 | 0,81 | 1,04 | 1,32 | 1,52 | 1,5 |
| 75 | 1,32 | 1,15 | 0,94 | 0,73 | 0,59 | 0,54 | 0,59 | 0,74 | 0,99 | 1,28 | 1,48 | 1,47 |
| 80 | 1,28 | 1,1 | 0,88 | 0,67 | 0,52 | 0,46 | 0,52 | 0,67 | 0,93 | 1,23 | 1,44 | 1,43 |
| 85 | 1,23 | 1,04 | 0,82 | 0,6 | 0,44 | 0,39 | 0,44 | 0,6 | 0,86 | 1,16 | 1,38 | 1,38 |
| 90 | 1,17 | 0,98 | 0,74 | 0,52 | 0,36 | 0,31 | 0,36 | 0,52 | 0,78 | 1,09 | 1,32 | 1,32 |

Ilustración 11: factor de corrección.



Así que ahora tendremos unos nuevos valores de radiación, multiplicando la radiación sobre superficie horizontal por el coeficiente de corrección.

| MES | Radiación(MJ/díam ²) | Factor de corrección k | Radiación corregida(MJ/díam ²) |
|------------|----------------------------------|------------------------|--|
| ENERO | 5 | 1,42 | 7,1 |
| FEBRERO | 7,4 | 1,3 | 9,62 |
| MARZO | 12,3 | 1,14 | 14,022 |
| ABRIL | 14,5 | 0,99 | 14,355 |
| MAYO | 17,1 | 0,88 | 15,048 |
| JUNIO | 18,9 | 0,84 | 15,876 |
| JULIO | 20,5 | 0,88 | 18,04 |
| AGOSTO | 18,2 | 1,01 | 18,382 |
| SEPTIEMBRE | 16,2 | 1,19 | 19,278 |
| OCTUBRE | 10,2 | 1,41 | 14,382 |
| NOVIEMBRE | 6 | 1,56 | 9,36 |
| DIECIEMBRE | 4,5 | 1,54 | 6,93 |

Estos nuevos valores de radiación son los que utilizaremos posteriormente para el resto de cálculos en cuantos a pérdidas en el captador, pérdidas por sombras e inclinación...etc.

3.1.1.4.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN, INCLINACIÓN, SOMBRAS E INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA.

Lo primero que debemos establecer es que por el lugar donde se encuentra nuestra instalación vamos a considerar como despreciables para el desarrollo del presente proyecto las pérdidas tanto por sombras como por integración arquitectónica. De manera que pasaremos directamente a evaluar las posibles pérdidas por posición (pérdidas referidas a la orientación e inclinación).

Podemos pensar que en realidad el efecto de una posición no óptima ya la hemos tenido en cuenta cuando hemos obtenido el valor de la radiación incidente para el cálculo de la energía solar absorbida en el apartado anterior. Sin embargo lo que sucede es que para una posición de los captadores sea autorizada deben cumplirse unos requisitos adicionales sobre los límites

admisibles de pérdidas. En el CTE DB HE4, establece que la orientación e inclinación de los captadores a instalar sean tales que las pérdidas sean inferiores a los límites que vemos a continuación:

| | <i>Orientación e inclinación (OI)</i> | <i>Sombras (S)</i> | <i>Total (OI+S)</i> |
|----------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|
| General | 10 % | 10 % | 15 % |
| Superposición | 20 % | 15 % | 30 % |
| Integración arquitectónica | 40 % | 20 % | 50 % |

Ilustración 12: límites de pérdidas.

Esto quiere decir que las pérdidas respecto a la posición óptima (en España se ha considerado que la posición óptima corresponde a la orientación Sur y una inclinación entre los 30-35°) no puede superar en porcentaje a los valores de dicha tabla.

Como vemos se distingue tres casos: el general, superposición e integración arquitectónica. Nuestro caso corresponde al caso general, ya que se coloca los captadores sobre una azotea horizontal, donde las posibilidades de colocación de los equipos son mayores que sobre cubierta inclinada.

Como ya hemos comentado consideramos como orientación óptima el sur, así que nuestros captadores los orientaremos en dicha dirección. Pero para la inclinación óptima vamos a diferenciar tres casos:

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

En función de estas condiciones, vamos a determinar que la inclinación de nuestros captadores sea igual a $\beta=50^\circ$. Como sabemos Pamplona se encuentra sobre una latitud geográfica de 41°, de forma que es lógico tomar una inclinación de 50°, porque nuestros vestuarios van a tener mayor demanda en invierno, ya que en los dos meses principales de verano se encuentran cerrados por completo.

Para calcular las pérdidas por orientación e inclinación vamos al Anexo V, del *Pliego de Condiciones del IDAE*. De este apartado obtendremos además los límites máximos y mínimos de inclinación en función de las pérdidas máximas admisibles.

Inicialmente definiremos dos ángulos necesarios para determinar las pérdidas:

- Ángulo de inclinación: β , se define como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal. Su valor es de 0° para captadores horizontales y 90° para captadores verticales.

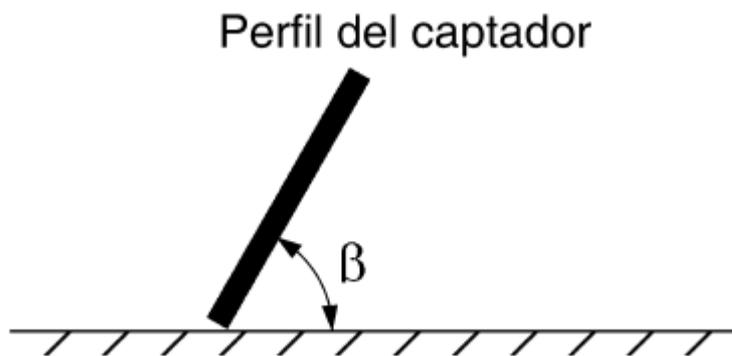


Ilustración 13: Inclinación del captador.

- Ángulo de azimut: α , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar. Como orientación sabemos que valores típicos corresponden a 0° para captadores orientados al Sur, -90° para captadores orientados hacia el Este y $+90^\circ$ para captadores orientados hacia el Oeste. De forma que nuestro ángulo de azimut $\alpha=0^\circ$, por la situación del edificio respecto al Norte-Sur.

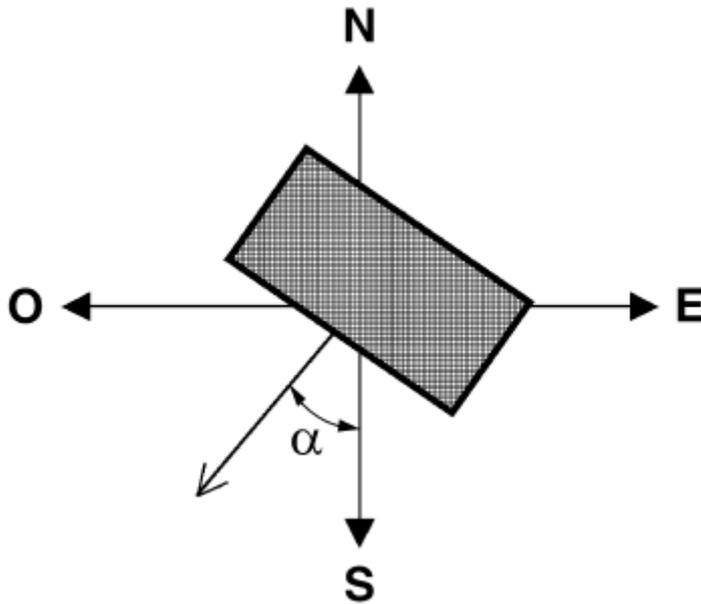


Ilustración 14: ángulo de azimut.

Sabiendo el ángulo de azimut del captador, calcularemos los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello, el CTE nos proporciona una herramienta gráfica con porcentajes de energía anual respecto a la orientación e inclinación diferentes de la óptima en función de la latitud de 41° .

En nuestro caso vamos a tener un ángulo azimut de 0° , por lo que observando en la gráfica obtendremos unos valores de inclinación límites para un porcentaje de pérdidas no superiores al 10%. Pero lo que ocurre es que obtenemos valores para una latitud de 41° . Por tanto, si vamos a la gráfica con el ángulo de azimut de 0° determinamos los límites de inclinación en el caso de

latitud 41° con el límite de pérdidas máximos del caso general del 10%, obteniendo unos valores de:

- Inclinación máxima= 62° .
- Inclinación mínima= 5° .

Y ahora debemos corregir los valores de la inclinación en función de la diferencia entre la latitud en cuestión y la latitud de referencia de 41° . Pero lo que sucede es que Pamplona coincide justo con la latitud de referencia por ello nos quedamos directamente con los valores obtenidos en la gráfica.

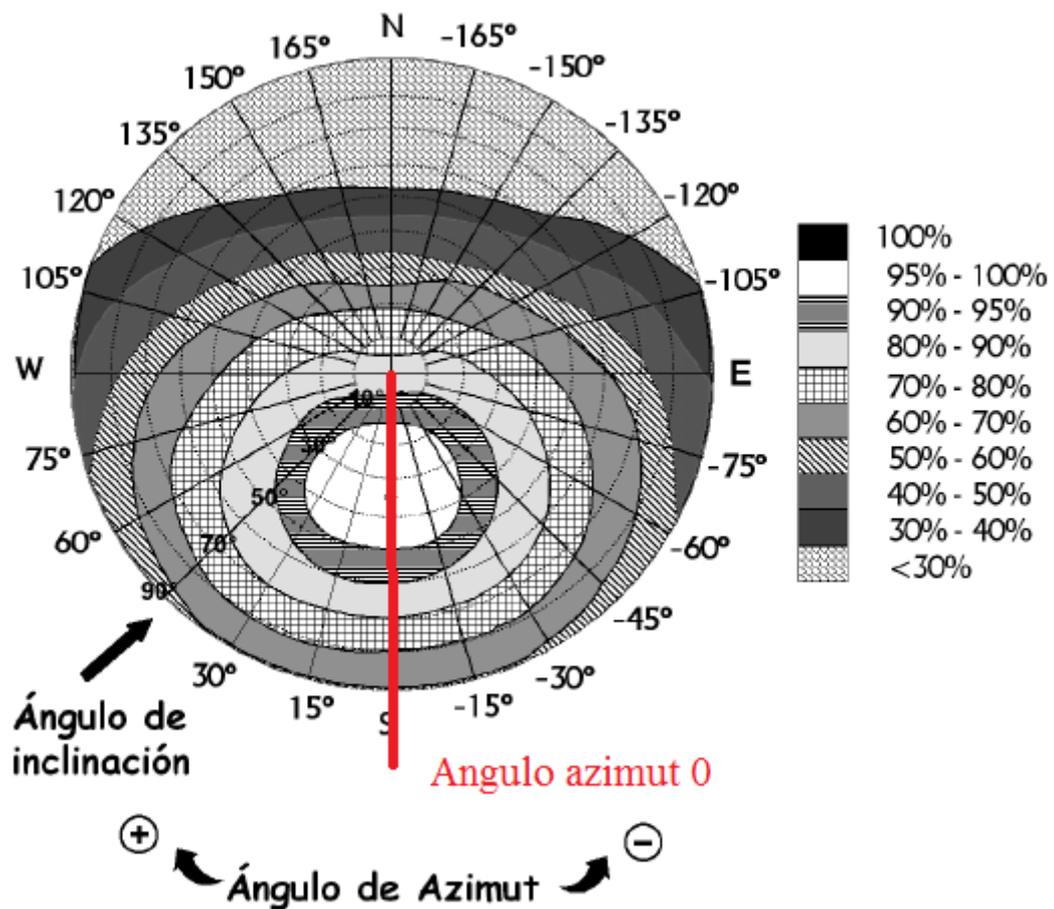


Ilustración 15: límites de inclinación.

Por tanto nuestra inclinación $\beta=50^\circ$ se encuentra dentro del rango permitido para que las pérdidas no superen el 10%.

Ya por último nos falta conocer el valor del porcentaje de pérdidas. El CTE nos proporciona una serie de fórmulas en función de la inclinación de nuestro captador. De forma que diferencia dos casos:



Trabajo Fin de Grado

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

Así que tendremos un porcentaje de pérdidas sustituyendo los datos correctamente en la primera expresión de 1,728%, que deberemos aplicar a la energía absorbida por cada captador durante todos los meses del año. Los valores finales de radiación se obtienen como:

$$\text{Energía absorbida total} = \frac{100 - \text{Porcentaje pérdidas}}{100} * \text{Energía captador inclinado}$$

Y como vemos en la siguiente tabla los valores obtenidos son para cada mes del año:

| MES | Energía absorbida captador inclinado(MJ/díam2) | Porcentaje pérdidas inclinación (%) | Energía absorbida total captador(MJ/díam2) |
|------------|--|-------------------------------------|--|
| ENERO | 3,692 | 1,728 | 3,628 |
| FEBRERO | 4,906 | 1,728 | 4,821 |
| MARZO | 7,431 | 1,728 | 7,303 |
| ABRIL | 7,752 | 1,728 | 7,617 |
| MAYO | 8,276 | 1,728 | 8,133 |
| JUNIO | 8,811 | 1,728 | 8,658 |
| JULIO | 10,282 | 1,728 | 10,105 |
| AGOSTO | 10,661 | 1,728 | 10,477 |
| SEPTIEMBRE | 11,084 | 1,728 | 10,893 |
| OCTUBRE | 8,054 | 1,728 | 7,914 |
| NOVIEMBRE | 5,124 | 1,728 | 5,036 |
| DIECIEMBRE | 3,673 | 1,728 | 3,609 |

Y de manera gráfica:

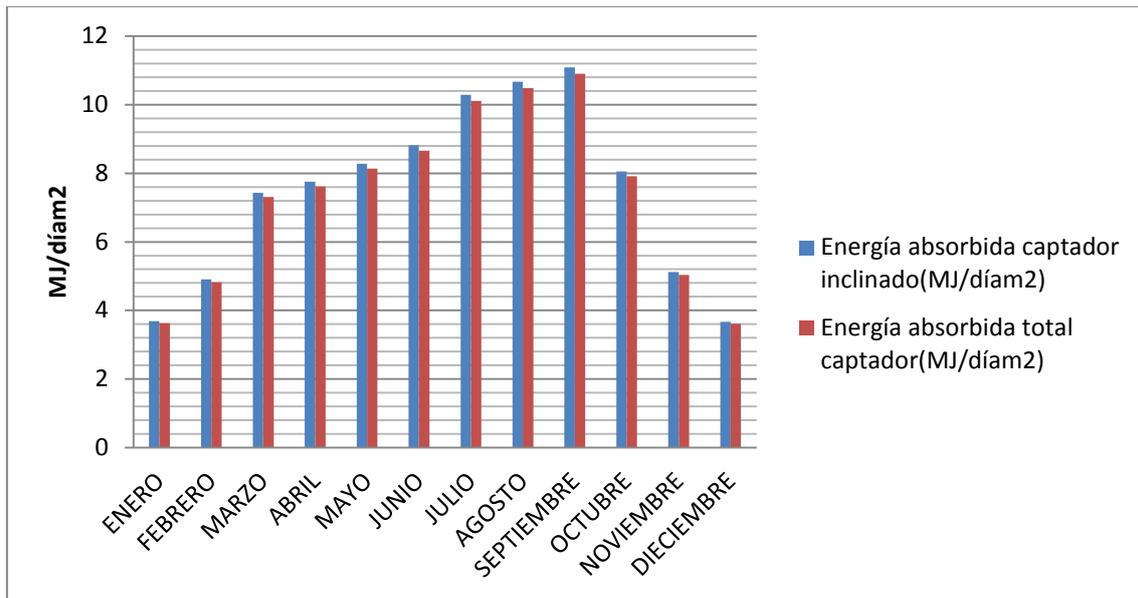


Ilustración 16: comparación captador.

Y como siempre, para la contribución solar vamos a tener en cuenta los valores anuales, de manera que nos falta por obtener la radiación absorbida por cada mes, multiplicando dichos valores por el número de días, y con la suma tendremos el valor anual.

| MES | Días de cada mes | Energía absorbida total captador(MJ/díam ²) | Energía absorbida mensual total(MJ/m ²) |
|------------|------------------|---|---|
| ENERO | 31 | 3,628 | 112,474 |
| FEBRERO | 28 | 4,821 | 134,999 |
| MARZO | 30 | 7,303 | 219,097 |
| ABRIL | 31 | 7,617 | 236,150 |
| MAYO | 30 | 8,133 | 244,002 |
| JUNIO | 31 | 8,658 | 268,426 |
| JULIO | 30 | 10,105 | 303,153 |
| AGOSTO | 31 | 10,477 | 324,797 |
| SEPTIEMBRE | 30 | 10,893 | 326,799 |
| OCTUBRE | 31 | 7,914 | 245,357 |
| NOVIEMBRE | 30 | 5,036 | 151,081 |
| DICIEMBRE | 31 | 3,609 | 111,892 |



3.1.1.4.3 CAPTADOR SOLAR.

El captador solar es el componente fundamental de toda la instalación. Es el elemento donde se produce la aportación de energía externa que permite el funcionamiento del sistema global.

El funcionamiento es simple. Al incidir la radiación sobre la superficie del captador, este se calienta. El calor absorbido se transfiere a un fluido portador que circula en su interior. Este fluido sale del captador en lo que se conoce como el circuito primario, para posteriormente ceder ese calor para calentar el ACS.

Un buen captador debe tener una serie de características fundamentales:

- Debe optimizar la obtención de calor por incidencia de la radiación solar.
- Debe ser lo más eficaz posible en la transferencia de calor al fluido.

Además el captador debe garantizar una operación prolongada, sin una degradación excesiva, ya que el captador trabajara en un medio exterior, con grandes variaciones de temperatura entre el exterior y su interior y durante todos los días del año.

Así mismo debe cuidarse el aspecto de la integración de estos elementos en los edificios. Para nuestro caso, la integración de estos elementos en el edificio de los vestuarios solo debe preocuparnos desde el punto de vista arquitectónico, es decir, comprobar que en la cubierta puedan instalarse los captadores sin ningún tipo de fallo. Mientras que el punto de visto estético no tiene mayor relevancia.

Existen ya muchas tecnologías de captadores solares en el mercado, pero la más extendida actualmente es sin duda la de captadores solares planos. Nosotros elegiremos este tipo de captadores porque aparte de que es la mejor tecnología en cuanto a adaptación en función de las condiciones climáticas de nuestro país, se trata de un tipo de captador que presenta buen rendimiento en aplicaciones de ACS, y sobre todo a unos precios razonables.

Constitución y funcionamiento de un captador solar plano.

Un captador solar plano tipo estándar dispone de las siguientes partes, entre las que diferenciamos varios componentes básicos:

1. Caja hermética.
2. Acristalamiento.
3. Tubos conductores del fluido caloportador.
4. Aislante.



Ilustración 17: esquema simple captador plano.

En un captador solar se dan los tres tipos de mecanismos de transmisión de calor: convección, conducción y radiación. La radiación emitida por el Sol alcanza el captador. En el llamado absorbedor, se convierte en calor y se transmite por conducción hasta los tubos por los que circula el fluido de trabajo. Desde la superficie interna de los tubos se transfiere por convección al fluido, que finalmente extrae el calor por convección, que puede que sea natural o forzada. Asimismo, el propio absorbedor caliente emite por radiación cierta cantidad de energía de pérdidas, que se suman al desplazamiento por convección del aire circundante. La importancia de esta cubierta transparente reside en que impide en gran parte la salida de esta energía, ya que como sabemos la cubierta transparente impide el paso de la radiación a una diferente longitud de onda de la radiación incidente inicial.

A continuación procedemos a describir cada una de las partes del captador.



-Absorbedor.

Es la parte donde se produce la conversión de la energía de la radiación solar en calor. Este calor se transfiere al fluido portador, que circula por los conductos que forman parte del propio absorbedor. Un absorbedor está generalmente formado por chapas o láminas sobre las que incide la radiación y que transmiten el calor a los tubos, que son unos tubos finos con un diámetro inferior al centímetro.

Las láminas absorbedoras generalmente están fabricadas de Aluminio o Cobre, mientras que los tubos puede que estén fabricados de acero inoxidable o Cobre.

Independientemente del material, que es un factor importante en el buen rendimiento del captador, el propio diseño del captador determinará la eficiencia en la transferencia energética al fluido. Las configuraciones más habituales son las siguientes:

- Dos chapas conformadas para permitir el paso del fluido y soldadas entre sí.
- Parrilla de tubos unidos a una chapa continua o a un conjunto de aletas.
- Chapa unida a un serpentín.

En función del fabricante, como veremos más adelante, nuestro captador solar plano tendrá una disposición u otra. El calor que hemos absorbido debe transferirse de manera más eficiente y rápida al fluido portador, para lo que la distancia entre tubos no puede ser muy grande, ya que se ralentiza el funcionamiento de toda la instalación y se incrementan las pérdidas. Lógicamente dichos tubos deben estar repartidos de forma uniforme por toda la superficie de nuestro captador, para no permitir que existan zonas sin calentamiento. Al ser tubos finos, tendremos poco caudal, lo que permite un calentamiento rápido y efectivo. Y a su vez, estos tubos deben estar diseñados para evitar introducir elevadas pérdidas de carga al circuito primario, ya que tendríamos mayores pérdidas que contrarrestar con el equipo de bombeo del primario.



Para aumentar el aprovechamiento energético todos los equipos llevan en su cara expuesta al sol un tipo de recubrimiento que incremente la absorción de energía. Tendremos dos opciones:

- Pintura: se trata de pinturas especiales, que ofrecen unos coeficientes de absorción muy elevada. Esto claramente es algo muy beneficioso para nuestro caso, aunque también presentan unos índices de emisividad muy altos.
- Tratamientos superficiales selectivos: se trata de una alternativa más cara, que se basan en una serie de tratamientos superficiales que reducen de manera considerable la emisión en la franja infrarroja

-Cubierta transparente.

La cubierta transparente va a cumplir unas funciones muy importantes:

- ❖ Proteger al absorbedor y al aislante térmico de los agentes externos.
- ❖ Contribuir al aislamiento térmico del equipo.
- ❖ Permitir el paso de la radiación solar incidente, de longitud de corta onda, y a su vez, impedir la salida de la radiación de longitudes de onda largas emitidas por el absorbedor.

Para comprender el funcionamiento de la función esencial de la cubierta transparente en un captador solar térmico vamos a necesitar explicar la distribución espectral de la radiación solar y el comportamiento del absorbedor ante el incremento de temperatura que sufre dicha cubierta.

La radiación solar incidente tiene un espectro de longitudes de onda amplio, que abarca desde el ultravioleta, el visible hasta el infrarrojo “cercano” (de pequeña longitud de onda), que es donde se concentra gran parte de la energía recibida. Además en el infrarrojo “lejano” es donde se da que la aportación de energía es nula. Lo que sucede es que la radiación emitida por el absorbedor una vez se ha calentado tiene una longitud de onda superior al límite que marca la radiación infrarroja “lejana”, de forma que este hecho se aprovecha a la hora de diseñar nuestra cubierta transparente. Nos interesa que



sea muy transparente a longitudes de onda bajas y muy opaca para altas longitudes de onda.

La propiedad que determina la capacidad de transmisión de un material cualquiera se denomina transmitancia, y toma valor 1 para los cuerpos completamente transparentes y 0 para los opacos.

Este comportamiento de la cubierta nos permite reflejar la mayor cantidad posible de radiación que le llega del absorbedor, dándose un efecto rebote que provoca que se siga calentando el tubo. Es similar al *efecto invernadero*. Este efecto provoca sin duda un claro aumento de la eficiencia del equipo.

Actualmente para la cubierta transparente se utilizan vidrios templados o recocidos, con un espesor variable entre 3-6mm, y tratamientos superficiales que permitan cumplir la doble función de reducir la reflexión ante la radiación solar incidente en la cara exterior y aumentar la reflexión en el interior pero en este caso con la radiación infrarroja de onda larga.

-Aislamiento térmico y juntas.

Para reducir las pérdidas térmicas por conducción en el captador solar vamos a tener un aislamiento en la parte posterior y en zona lateral del equipo. Es decir, el aislamiento del mismo se encontrará en todas las caras que no sean la propia cara del absorbedor.

Sabemos que la principal característica de un aislante es que no posean alta conductividad térmica y que presenten un buen comportamiento para altas temperaturas. Como condiciones adyacentes que mejoran la calidad de un aislante destacaremos un peso específico bajo, tienen que ser resistentes a la humedad y al fuego y además no deben emitir gases tóxicos a la atmósfera.

Igual de importante que el aislante son las juntas que encontraremos en las uniones del bastidor o caja hermética, en la cubierta transparente y en las propias conexiones de las tuberías. Estas juntas van a tener la función principal de evitar la fuga de calor y evitar que el agua penetre dentro del captador.



Dichas juntas están generalmente están sometidas a altas temperaturas, sobre todo a la salida del captador cuando la temperatura del fluido es máxima. Y como no, las juntas serán las encargadas de hacer frente a las posibles dilataciones térmicas de los materiales.

-Caja hermética o bastidor.

Los captadores solares planos estarán envueltos en una caja contenedora o hermética, carcasa o bastidor. Esta carcasa proporciona protección frente a la humedad y los daños mecánicos.

Esta parte del captador debe ser ligera y tener buenas propiedades frente a la corrosión, ya que es el elemento más externo en contacto con el medio.

Para concluir con la descripción completa de nuestro captador vamos a ver que al hacer referencia al área de nuestro captador se diferencian tres tipos de áreas:

- Área total del captador: corresponde al área entre los límites externos del captador, incluyendo el bastidor. En la ilustración corresponde con la superficie “A”.
- Área de apertura: es la superficie que ofrece el captador a la radiación solar, que normalmente coincidirá con la superficie de la cubierta transparente. Este es el área que se utiliza a la hora de determinar el rendimiento del captador, como veremos posteriormente. En la imagen lo vemos como la superficie delimitada por “C”.
- Área del absorbedor: es el área total ocupada por el absorbedor. La parte ligada a la distancia “B”.

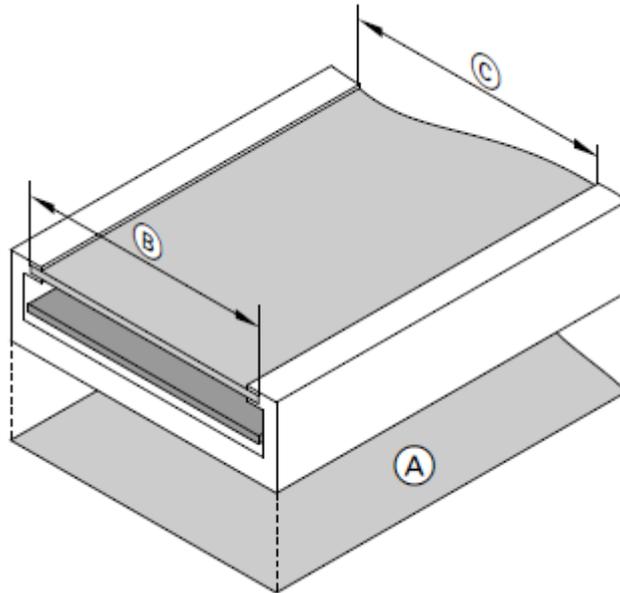


Ilustración 18: áreas de un captador.

Como conclusión, una vez analizadas cada una de las partes internas del captador, tenemos que todo captador solar plano tiene como función principal convertir la radiación principal incidente en calor y transferir este calor al fluido e intentando asegurar el mayor rendimiento posible en condiciones seguras.

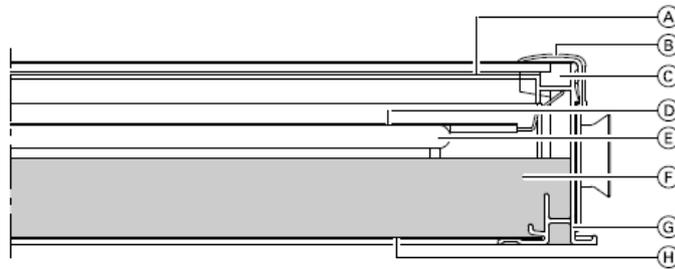
A la hora de elegir nuestro tipo de captador solar, hemos consultado varios tipos de fabricantes que cumplían con la normativa vigente en cuanto a la comercialización de captadores solares planos para instalaciones de ACS de baja temperatura.

La marca de fabricante elegida ha sido “VIESSMANN”, ya que nos ofrecía gran variedad de productos y modelos. En concreto hemos elegido el modelo “VITOSOL 100-F SV1A”, que como nos dice el fabricante es idóneo para montaje sobre cubiertas planas, y que cumple con la certificación del producto.

Describiendo de manera breve nuestro producto elegido, el absorbedor con recubrimiento selectivo del modelo en cuestión nos garantiza una alta absorción de la radiación solar mejorando el aporte de energía. El tubo de Cobre en forma de serpentín hace posible una evacuación uniforme del calor en el absorbedor. La caja de colector es aislante como hemos visto y resistente

a temperaturas elevadas, y dispone de un recubrimiento de vidrio solar de bajo contenido en hierro.

A continuación observamos una visión de la estructura interna de nuestro captador:

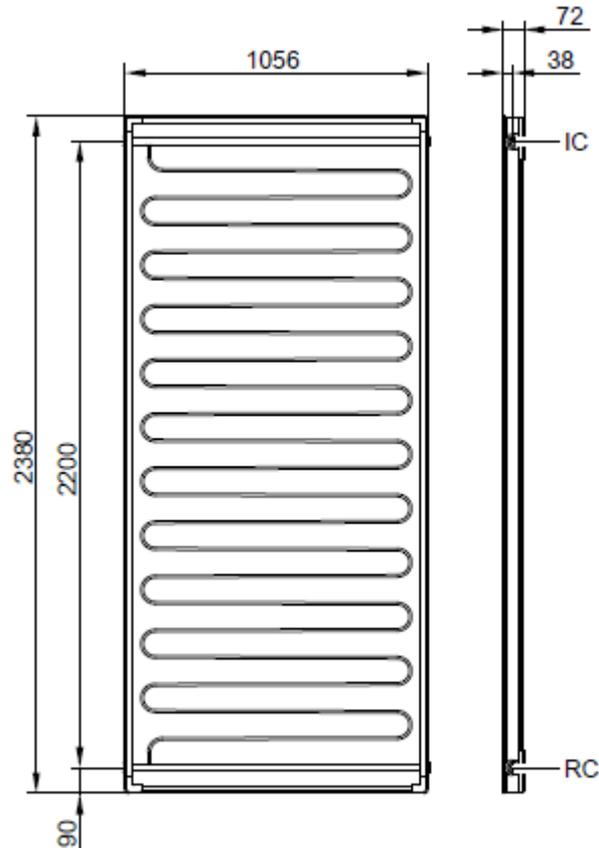


- (A) Cubierta de vidrio solar, de 3,2 mm
- (B) Codo de recubrimiento de aluminio
- (C) Junta continua de la plancha de vidrio
- (D) Absorbedor

- (E) Tubo de cobre en forma de serpentin
- (F) Aislamiento térmico de fibra mineral
- (G) Perfil de marco de aluminio
- (H) Chapa de fondo de acero con recubrimiento de aluminio-zinc

Ilustración 19: vista interna del captador.

Por último, a la hora de la disposición geométrica de nuestros captadores sobre nuestra cubierta, va a ser necesario conocer las medidas exactas del captador, que son aportadas por el propio fabricante como vemos a continuación:



Modelo SV1A/SV1B

Ilustración 20: dimensiones captador.

Una vez elegido nuestro captador, vamos a intentar conocer el rendimiento del mismo. El rendimiento para el colector nos indica qué porcentaje de la radiación solar que incide en la superficie de apertura se puede convertir en energía térmica útil. Es claro que el rendimiento de un captador puede estar afectado por muchos factores externos al propio colector, y tal como nos dice el fabricante obtendremos unos rendimientos que se han obtenido para las mismas condiciones.

Una vez que la radiación llega al colector, se producen pérdidas por reflexión y absorción en la cubierta de cristal y por reflexión en el absorbedor, como hemos explicado anteriormente. De forma que calcularemos el



rendimiento óptico η_0 como la proporción entre el nivel de radiación que incide en el colector y la potencia de radiación que es transformada en el absorbedor.

Cuando nuestro colector se calienta, transmite una parte de calor al entorno debido a la conducción térmica del propio material, a la radiación térmica y a la convección. Así que aparecerán una serie de pérdidas que deberemos ser capaces de calcularlas mediante unos coeficientes de pérdida de calor k_1 y k_2 , la diferencia de temperatura en Kelvin entre el absorbedor y el entorno y la intensidad de radiación E_g teniendo una expresión del tipo:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot \Delta T}{E_g} - \frac{k_2 \cdot \Delta T^2}{E_g}$$

Con esta expresión es condición necesaria y suficiente para determinar las curvas características del rendimiento. Analizando la expresión vemos que el rendimiento máximo se alcanzará cuando la diferencia de temperaturas entre el entorno y el absorbedor sean cero, además de que las pérdidas térmicas equivalgan a cero. De igual forma, cuanto más aumenta dicha diferencia de temperatura, el rendimiento disminuirá. Esto se debe a que la diferencia de temperaturas entre el entorno y el propio absorbedor provoca unas pérdidas mayores y por ello, el rendimiento de nuestro captador baja.

Una vez visto el fundamento teórico de donde podemos obtener el valor del rendimiento de nuestra instalación, el propio fabricante nos da una gráfica con la curva característica del rendimiento para nuestro tipo de colector. Se trata de un buen método simplificado para obtener el rendimiento del colector. El dato de entrada para obtener dicho valor es la diferencia de temperatura entre el absorbedor y el entorno. A su vez, el fabricante nos determina diferentes áreas en función de las condiciones de trabajo más típicas de los captadores solares. La gráfica es la siguiente:

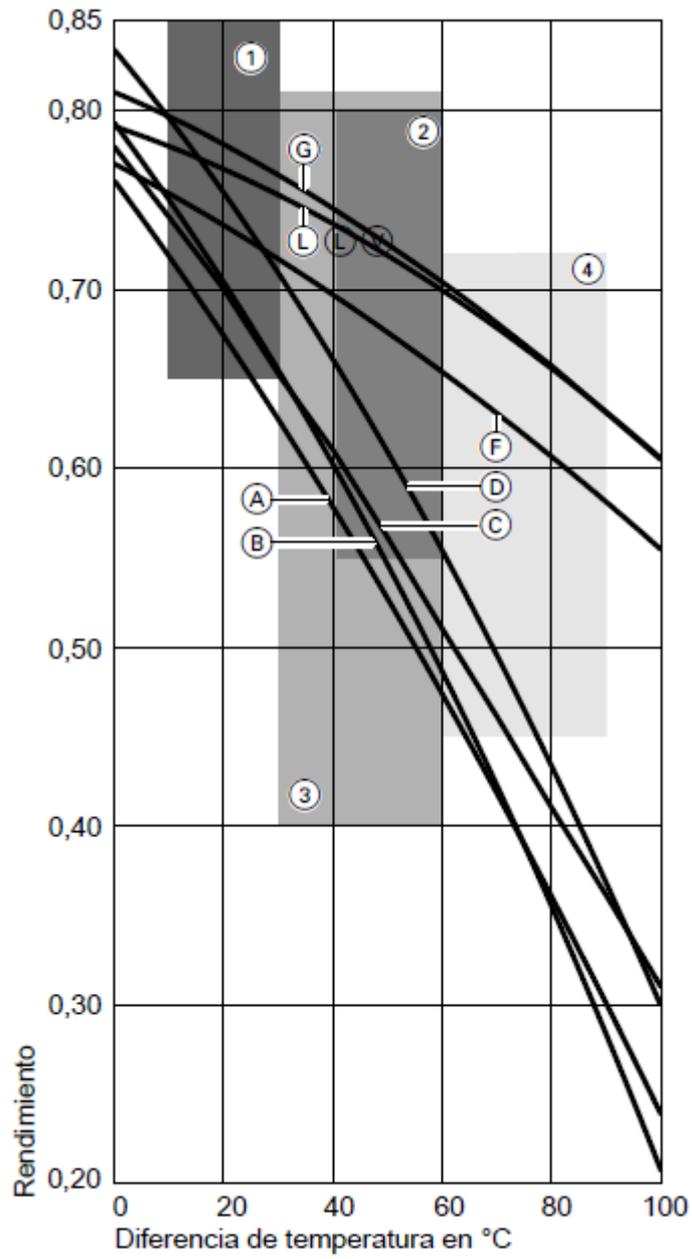


Ilustración 21: gráfica de rendimiento.



Y el fabricante nos da las áreas de trabajos típicas, teniendo que la nuestra corresponde al caso número 3: “Instalación de energía solar para ACS y apoyo de calefacción solar”.

Áreas de trabajo típicas (consultar el diagrama siguiente):

- ① Instalación de energía solar para A.C.S. con tasa de cobertura reducida
- ② Instalación de energía solar para A.C.S. con tasa de cobertura más elevada
- ③ Instalación de energía solar para A.C.S. y apoyo de calefacción solar
- ④ Instalación de energía solar para suministro de calor a procesos industriales/climatización solar

Ilustración 22: áreas de trabajo típicas.

Para conocer la diferencia de temperatura entre el entorno y nuestro absorbedor, sabemos que la temperatura a la entrada y a la salida del mismo será diferente. Lo que nosotros sabemos es que vamos a querer calentar el agua una cierta temperatura como máximo de 60°, de forma que la mezcla de agua con glicol que circula por el interior de nuestros captadores puede alcanzar una temperatura máxima de 70° a la salida, teniendo que una vez se haya producido el intercambio de calor, la temperatura del fluido caloportador sea de 50°. Debemos decir que todo estas suposiciones de temperatura las realizamos como proyectistas basados en lo que nos dice la experiencia, de forma que tenemos un cierto riesgo de variaciones pero que estos datos no se alejan demasiado de la realidad. Así que para cualquier mes del año tendremos la temperatura del absorbedor constante, y lo único que nos variará será la temperatura ambiente que utilizamos los datos que nos proporcionan las tablas del IDAE.

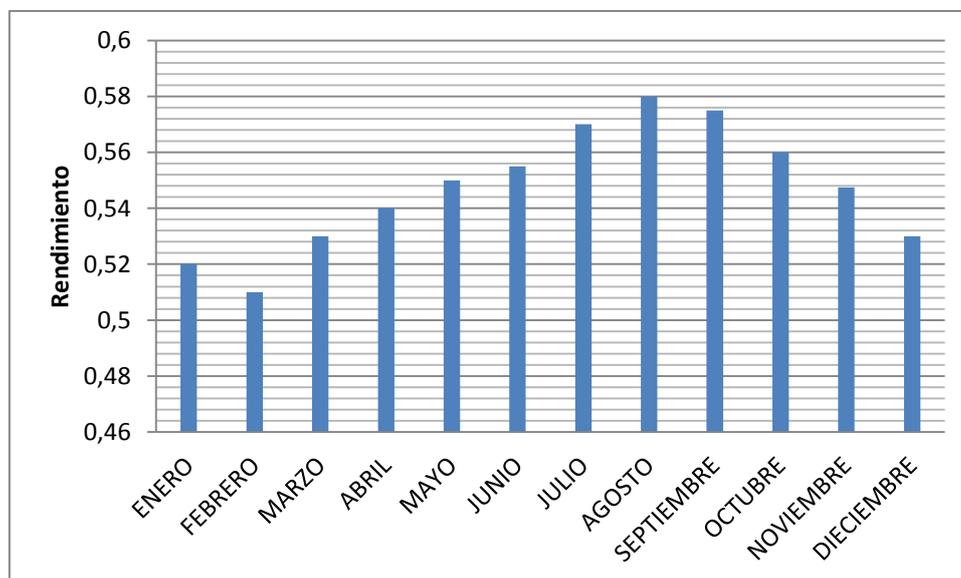


Trabajo Fin de Grado

Todos los datos para cada mes del año quedan resumidos en la siguiente tabla:

| MES | Tª salida absorbedor(°C) | Tª entrada absorbedor(°C) | Tª absorbedor(°C) | Ambiente(°C) | Diferencia de Tªs (°C) | Rendimiento captador |
|------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|--------------|------------------------------|-------------------------|
| ENERO | 70 | 50 | 60 | 4,5 | 55,5 | 0,52 |
| FEBRERO | 70 | 50 | 60 | 6,5 | 53,5 | 0,51 |
| MARZO | 70 | 50 | 60 | 8 | 52 | 0,53 |
| ABRIL | 70 | 50 | 60 | 9,9 | 50,1 | 0,54 |
| MAYO | 70 | 50 | 60 | 13,3 | 46,7 | 0,55 |
| JUNIO | 70 | 50 | 60 | 17,3 | 42,7 | 0,555 |
| JULIO | 70 | 50 | 60 | 20,5 | 39,5 | 0,57 |
| AGOSTO | 70 | 50 | 60 | 20,3 | 39,7 | 0,58 |
| SEPTIEMBRE | 70 | 50 | 60 | 18,2 | 41,8 | 0,575 |
| OCTUBRE | 70 | 50 | 60 | 13,7 | 46,3 | 0,56 |
| NOVIEMBRE | 70 | 50 | 60 | 8,3 | 51,7 | 0,5475 |
| DIECIEMBRE | 70 | 50 | 60 | 5,7 | 54,3 | 0,53 |

Teniendo ahora la representación gráfica del rendimiento de nuestro captador para cada mes del año:



3.1.1.5 DETERMINACIÓN FINAL DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA APORTADA.

Una vez hemos definido a lo largo de estos apartados anteriores los múltiples parámetros que influirán en el funcionamiento de nuestro captador solar plano, estamos en disposición de poder determinar la energía total absorbida por el mismo.



Trabajo Fin de Grado

Una vez hemos determinado la radiación incidente para una superficie cubierta, calculado el porcentaje de pérdidas y el rendimiento del captador, la energía calorífica que una instalación solar aporta al agua de consumo sólo es posible calcularla, a partir de la radiación incidente, una vez que hemos conocido el número y modelo de captadores solares previstos. Por tanto, para nosotros el número de paneles es un dato de diseño, que posteriormente compararemos los resultados con los obtenidos con el programa *cheq4*. (Para este programa deberemos tener un número de paneles mayores para que cumpla los requerimientos de contribución solar mínima exigida por la HE4).

Nuestro captador según las especificaciones del propio fabricante tiene un área de apertura de $2,33 \text{ m}^2$, que es la que se utiliza para obtener el rendimiento del colector al ser el área correspondiente al absorbedor. Elegiremos por tanto, **20 captadores**, de forma que tendremos un área de $46,6 \text{ m}^2$ de captación.

A partir de este dato en función de la energía absorbida por cada mes en metro cuadrado obtendremos como veremos en la siguiente gráfica la energía total por mes:

| MES | Energía absorbida mensual total(MJ/m2) | Superficie (m2) | Energía absorbida mensual total(MJ) |
|------------|--|-----------------|-------------------------------------|
| ENERO | 112,474 | 46,6 | 5241,301 |
| FEBRERO | 134,999 | 46,6 | 6290,989 |
| MARZO | 219,097 | 46,6 | 10209,930 |
| ABRIL | 236,150 | 46,6 | 11004,602 |
| MAYO | 244,002 | 46,6 | 11370,470 |
| JUNIO | 268,426 | 46,6 | 0 |
| JULIO | 303,153 | 46,6 | 0 |
| AGOSTO | 324,797 | 46,6 | 15135,548 |
| SEPTIEMBRE | 326,799 | 46,6 | 15228,838 |
| OCTUBRE | 245,357 | 46,6 | 11433,645 |
| NOVIEMBRE | 151,081 | 46,6 | 7040,393 |
| DICIEMBRE | 111,892 | 46,6 | 5214,185 |

La evolución de la energía absorbida por mes es:

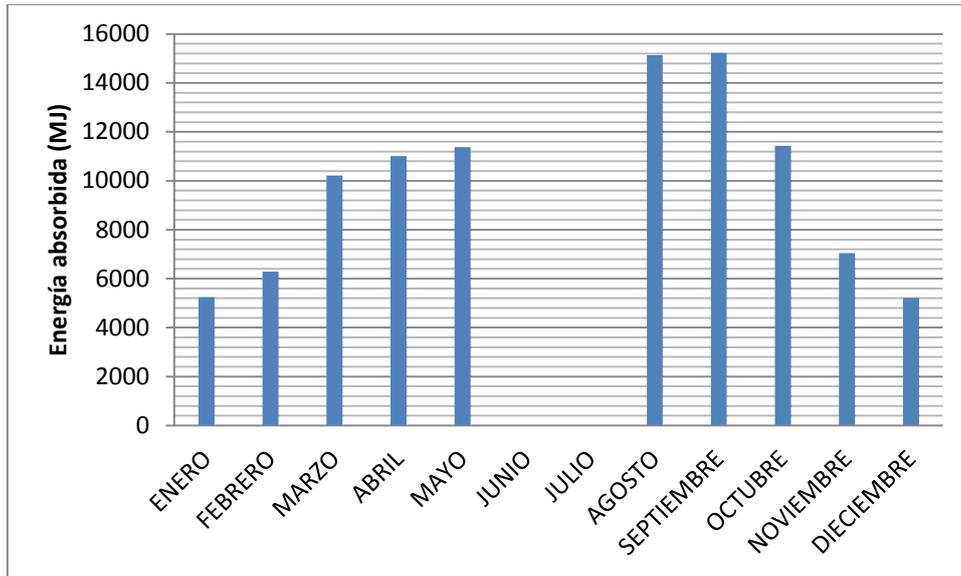


Ilustración 23: evolución de la energía absorbida.

La energía anual absorbida es de: 124805,5349 MJ.

Lo que ocurre en los meses de Junio y Julio, al estar la instalación sin ningún tipo de demanda, lo que se hace es tapar los paneles solares, es decir, “apagamos” la instalación, ya que no vamos a estar absorbiendo energía para que no sea utilizada. Además al ser los meses con alta radiación, se alcanzarán altas temperaturas en el sistema si no es utilizado, algo que no nos interesa por el propio mantenimiento del mismo.

3.1.1.6 DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN SOLAR.

Una vez calculado por completo tanto la demanda energética como la energía absorbida para nuestra instalación ya determinada, somos capaces de obtener la fracción solar en concreto para nuestra instalación. Esta relación, como ya hemos explicado con anterioridad, se realiza con valores anuales y relaciona la energía absorbida con la demanda energética.

$$F.S = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Demanda energética}} = \frac{124805,5349 \text{ MJ}}{365384,25 \text{ MJ}} = 0,345$$

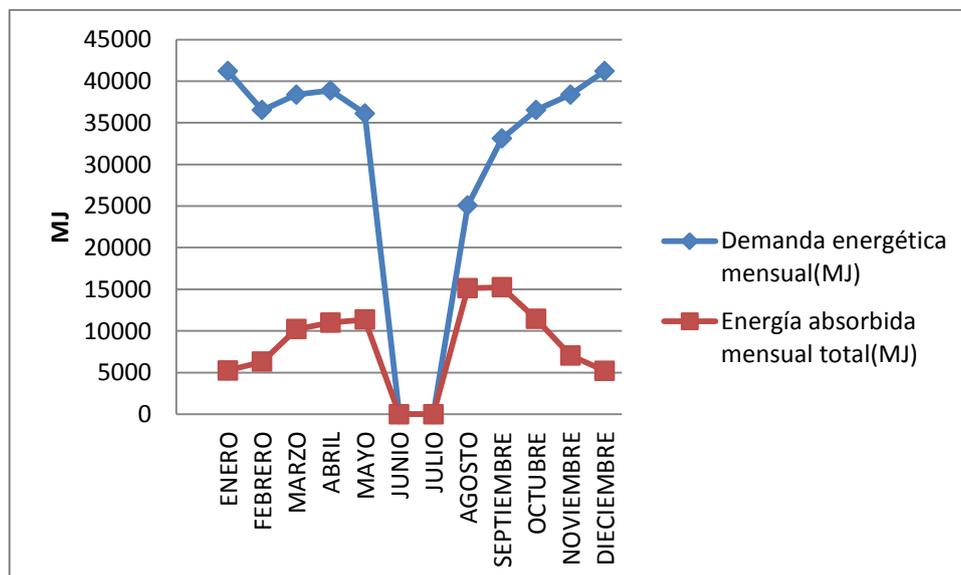


Trabajo Fin de Grado

En la siguiente tabla compararemos los diferentes valores entre la energía absorbida y la demanda energética, teniendo que:

| MES | Demanda energética mensual(MJ) | Energía absorbida mensual total(MJ) |
|------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| ENERO | 41206,440 | 5241,300 |
| FEBRERO | 36516,480 | 6290,989 |
| MARZO | 38372,400 | 10209,930 |
| ABRIL | 38874 | 11004,602 |
| MAYO | 36115,200 | 11370,470 |
| JUNIO | 0 | 0 |
| JULIO | 0 | 0 |
| AGOSTO | 25073,730 | 15135,548 |
| SEPTIEMBRE | 33105,600 | 15228,838 |
| OCTUBRE | 36541,560 | 11433,645 |
| NOVIEMBRE | 38372,400 | 7040,393 |
| DIECIEMBRE | 41206,440 | 5214,185 |

Y de manera gráfica podrá verse muy bien el concepto de que la demanda energética es mayor que la energía absorbida, y por tanto, de la evolución en dichos valores mensuales obtenemos el resultado anual de la fracción solar del 34% aproximadamente. Por tanto, este valor de la contribución solar mínima lo encontramos en el límite establecido por el CTE DB HE4 que como recordamos del presente documento en la Ilustración 5, se nos había determinado un porcentaje mínimo del 30%, de forma que con el número de captadores instalados cumplimos las exigencias.





Analizando de forma breve nuestra gráfica vemos que la evolución temporal de nuestra demanda energética alcanza valores máximos tanto en el mes de Enero como en el mes de Diciembre. Esto es debido a que ambos meses pueden considerarse como los más fríos, teniendo que el salto térmico que debemos aportar a nuestro agua de consumo sea más elevado. La disminución de la demanda energética en el mes de Febrero es debido al menor número de días. Los valores de la demanda tanto en Junio como en Julio son nulos ya que nuestra instalación está cerrada por completo, al igual que la energía absorbida que como hemos dicho los paneles se encuentran totalmente tapados y no están captando energía. Y en los meses siguientes al verano observamos cómo crece de manera rápida nuestra demanda debido a que las instalaciones vuelven a utilizarse por completo, teniendo que en el primer mes de Agosto aún el número de servicios por duchas no es igual que para el resto de meses.

En cuanto a la radiación, se aprecia de manera clara que en los meses de invierno la intensidad es mucho menor que en los meses centrales del año, lo que provoca que la energía absorbida por los mismos paneles sea mucho mayor en verano y primavera que en otoño e invierno.

Esta gráfica es una de las más representativas del presente proyecto, ya que nos relaciona una información muy importante en cuanto al funcionamiento de nuestra instalación solar comparado a la demanda que nos queremos hacer frente.

3.1.1.7 COMPARACIÓN CON EL PROGRAMA DE CÁLCULO CHEQ4.

A la hora de conocer si los resultados de nuestra instalación se aproximan a unos valores que podríamos considerar como reales, utilizamos un método de dimensionado reconocido en el sector de implantación de captadores solares planos. Dicho método es el CHEQ4. Se trata de un programa de cálculo homologado por el IDAE, por tanto, utilizará como bases de datos los mismos datos que hemos utilizado nosotros en cuanto a temperaturas ambiente y de red en Pamplona, intensidad de radiación...

El funcionamiento del programa es simple. Todos los cálculos que hemos ido realizando nosotros en cuanto a obtener la demanda de consumo, la demanda energética, la radiación absorbida, lo realiza el programa al solicitarnos unos ciertos datos de entrada. A su vez, el propio programa nos ofrece un amplio abanico de modelos de captadores, en el cual encontramos nuestro modelo, por tanto, es una gran ventaja a la hora de comparar nuestros datos.

Ahora iremos viendo diferentes ventanas y explicando qué tipo de información nos pide el programa en cada paso y cómo la analiza.

ste

Provincia

Municipio

Zona climática

Zona II

Latitud

42° 49'

Mapa provincia



Altura municipio seleccionado (m)

449

Altura de la instalación (m)

| | Rad(MJ/m2) | T.Red (°C) | T.Amb (°C) |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| Enero | 5,3 | 7,0 | 4,5 |
| Febrero | 8,3 | 8,0 | 6,5 |
| Marzo | 12,4 | 9,0 | 8,0 |
| Abril | 15,2 | 10,0 | 9,9 |
| Mayo | 18,7 | 12,0 | 13,3 |
| Junio | 22,8 | 15,0 | 17,3 |
| Julio | 24,2 | 17,0 | 20,5 |
| Agosto | 21,1 | 17,0 | 20,3 |
| Septiembre | 16,5 | 16,0 | 18,2 |
| Octubre | 10,6 | 13,0 | 13,7 |
| Noviembre | 6,4 | 9,0 | 8,3 |
| Diciembre | 4,7 | 7,0 | 5,7 |
| Promedio | 13,9 | 11,7 | 12,2 |

Ilustración 24: ventana inicial CHEQ4.

En este primer paso nos pide el programa que dictaminemos el lugar geográfico donde vamos a tener nuestra instalación, de forma que en función de la localización nos da unos datos básicos que serán constantes tanto de la radiación sobre superficie horizontal, temperaturas de red y de ambiente.

Puede que los datos que nos ofrezca este programa sean ligeramente distintos a los obtenidos del propio *Pliego de condiciones del IDAE*, ya que este programa puede actualizarse mientras que estos datos son recabados cada cierto tiempo y no se pueden actualizar, de forma que de ahí vendrán las pequeñas variaciones con respecto a nuestros datos.

En la siguiente ventana se nos pide que dictaminemos el tipo de instalación que vayamos a tener, de forma que nosotros elegiremos instalación solar con interacumulador:



Ilustración 25: elección de tipo de sistema.

Nuestra instalación como puede verse en el esquema inicial, tras la salida del sistema primario solar, tendremos un interacumulador que nos permite que se produzca el intercambio de calor en el serpentín y se acumule simultáneamente esa agua caliente. Luego veremos la elección del interacumulador.

CONSUMO ÚNICO

Aplicación

Número de servicios

Demanda calculada (l/día a 60 °C) 6.000

CONSUMO MÚLTIPLE

| | Viviendas | Dormitorios | Personas | Litros/día |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|----------|------------|
| Tipo A | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | | |
| Tipo B | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | | |
| Tipo C | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | | |
| Tipo D | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | | |

Demanda calculada (l/día a 60 °C)

CONSUMO TOTAL

Otras demandas (l/día a 60°C)

Demanda total (l/día a 60°C) 6.000

CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA EXIGIDA

| | | |
|----------------------------|---------------------------------|----------------|
| Caso general FS 35% | Caso efecto Joule FS 70% | Caso piscina F |
|----------------------------|---------------------------------|----------------|

Ilustración 26: obtención de la demanda.

En este apartado, el programa nos pide el tipo de aplicación que vamos a trabajar. A su vez no pide el número de servicios que tendrá lugar en un día, así que como hemos seguido en nuestros cálculos le establecemos un número de 400 servicios por día. De forma que el propio programa nos determina que al ser duchas, sabe que utilizan de media unos 15 litros/servicio, así obtiene la demanda de litros al día. Y en función de dicha demanda, el programa nos dictamina las contribuciones solares mínimas exigidas para cada caso: el efecto Joule y para el caso general. En la imagen vemos que el programa nos da un fracción solar mínima del 35%, y nosotros hemos obtenido una fracción solar mínima del 30%. Esta diferencia vendrá marcada por la variación inicial en los propios datos.

CAPTADORES

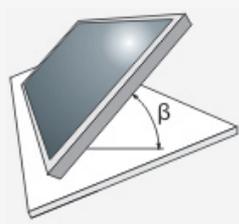
Empresa:

Marca/Modelo:

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

Datos de ensayo

| | |
|---------------|-----------|
| Área (m2) | 2,33 |
| n0 (-) | 0,758 |
| a1 (W/m2K) | 4,13 |
| a2 (W/m2K2) | 0,0108 |
| Qtest(I/hm2) | 40 |
| k50 | 0,9 |
| Laboratorio | ISFH |
| Certificación | NPS-13212 |



CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores: Captadores en serie:

Orientación (°): Inclinación (°):

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

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

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

SISTEMA DE APOYO

Tipo de sistema:

Tipo de combustible:



Ilustración 27: selección del captador solar.

Esta ventana es una de las más importantes. Como vemos el programa nos ofrece la posibilidad de elegir muchos tipos de fabricantes:

Empresa

-
- Reno Energy
- Roth
- Saltoki
- Salvador Escoda
- Saunier Duval
- Schüco
- Sedical
- Sime Hispania

Ilustración 28: selección del fabricante.



El método de dimensionado tiene una amplia base de datos donde para cada modelo de captador tiene sus características principales, que son las que aparecen en la imagen como datos de ensayo. Vemos que nos ofrecen el área de apertura, que para nuestro caso es de $2,33\text{m}^2$, como nos decía el fabricante en su catálogo. También nos dan los valores de los coeficientes de pérdidas que se utiliza en la determinación del rendimiento, junto con el dato del rendimiento óptico, que también nos los dan.

A continuación nos piden que introduzcamos como dato de diseño el número de captadores. Inicialmente nosotros hemos elegido un número de captadores de 20, pero a la hora de introducir los datos en el programa observábamos que no nos cumplía los mínimos exigidos en cuanto a contribución solar, de forma que colocamos 30 captadores del mismo modelo que el nuestro, de forma que al final sí que nos cumple los requisitos. Esta variación en el número de captadores se debe a que nosotros a la hora de calcular la energía absorbida hemos tenido en cuenta solamente ciertas pérdidas por inclinación, rendimiento del captador...pero el programa tiene introducido un método de mayor complejidad de cálculo en el que tiene en cuenta las pérdidas existentes en el circuito primario, y es algo más exacto a la hora de poder obtener los datos de partida, de ahí las diferencias en el número de captadores.

De igual manera que nosotros, el programa nos solicita información en cuanto a la orientación en inclinación.

Del circuito primario nos calcula directamente el caudal, con el que en función de unos datos de velocidad del CTE límites nos determina el diámetro de la tubería. Nos pide que introduzcamos a su vez datos del porcentaje de anticongelante, como es su porcentaje en el circuito primario y el espesor del mismo en la tubería. Por ejemplo, nuestros cálculos no alcanzan a determinar la influencia del tipo de aislante (lana mineral, muy buenas propiedades en este tipo de instalaciones) en función de la longitud del circuito.

Y ya para concluir en esta sección nos piden que digamos el tipo de sistema de apoyo, que como ya veremos más adelante se tratará de una caldera de gas natural a baja temperatura.

| | | |
|--|---|--|
| VOLUMEN DE ACUMULACIÓN |  | VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES |
| Volumen total (l) <input type="text" value="10000"/> | | Volumen total (l) <input type="text"/> |
| | | Esp. aislante (mm) <input type="text"/> |
| | | Aislante <input type="text"/> |
| <hr/> | | |
| DISTRIBUCIÓN |  | DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES |
| Long. circuito (m) <input type="text" value="100"/> | | Long. total (m) <input type="text"/> |
| Diám.tubería (mm) <input type="text" value="65"/> | | Diám. tubería (mm) <input type="text"/> |
| Esp. aislante (mm) <input type="text" value="32"/> T. imp.(°C) <input type="text" value="55"/> | | Esp. aislante (mm) <input type="text"/> |
| Aislante <input type="text" value="espuma elastomérica"/> | | Aislante <input type="text"/> |

Ilustración 29: elección de volumen y distribución.

A la hora de determinar el volumen de acumulación, según el CTE DB HE4, se establece una relación para este tipo de aplicaciones entre el volumen del acumulador y la superficie de captadores.

Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

donde A será el área total de los captadores, expresada en m^2 , y V es el volumen del depósito

de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria M : $V = M$.

Ilustración 30: condición volumen-área.



Entonces tendremos que el programa de cálculo no aceptará como válido nuestra instalación sino cumplimos dicha relación. Existe una diferencia entre nuestro caso y el del método:

- En nuestro caso, tendremos un número de captadores inferior al número que hemos utilizado en el método, de forma que observando en varios catálogos de acumuladores, podemos ver que existen acumuladores con capacidad de 4000 litros, así que en el caso real elegiremos un acumulador de dicho volumen y que nos cumple dicho requisito fundamental.
- Pero en el caso del método de cálculo tendremos una superficie mayor, y un volumen de acumulación que consideraremos notablemente mayor, simplemente para que nos cumpla dicha condición y el programa nos dé como válidos los resultados, ya que si no, nos rechaza los resultados. Por ello tenemos un volumen de acumulación tan distinto.

De igual forma para determinar los parámetros del circuito de distribución, introducimos la longitud del circuito el diámetro de las tuberías, el tipo de aislante con su espesor (en este caso para la distribución es mejor utilizar espuma elastomérica) y la temperatura de impulsión, que corresponde a la temperatura media más o menos a la que el agua puede recorrer dicho circuito. Vemos como el programa de cálculo va teniendo muchos más factores en cuenta que nosotros.

RESULTADO:



La instalación solar térmica especificada CUMPLE los requerimientos de contribución solar mínima exigida por la HE4

Certificado

Tabla de resultados

| Fracción Solar (%) | Demanda neta (kWh) | Demanda bruta (kWh) | Aporte solar (kWh) | Cons. auxiliar (kWh) | Reducción CO2 (kg) |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| 37 | 122.850 | 123.992 | 45.583 | 83.898 | 9.840 |

Gráfica de resultados

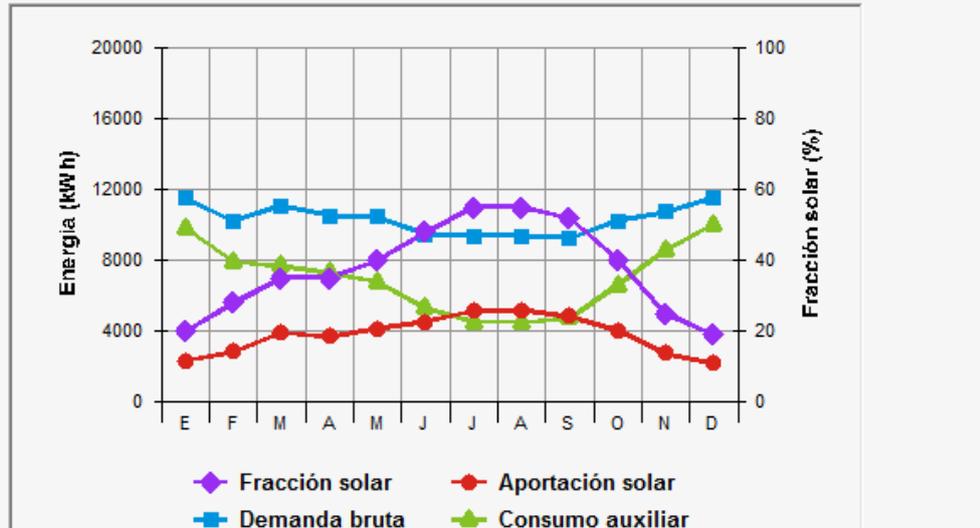


Ilustración 31: hoja final de resultados.

Como vemos en la parte superior se nos dice que nuestra instalación solar térmica cumple con los requisitos mínimos exigidos por la HE4. La gráfica es bastante representativa. En este caso, el sistema no conoce que durante los meses de verano nuestra demanda será nula. Se observa que el consumo auxiliar disminuye de manera notable durante los meses de verano, cuando la radiación es más intensa, por tanto la instalación solar puede acometer de mejor manera la demanda. La demanda sigue una línea más o menos igual a lo largo del año, estableciendo valores en función de lo que dictamina el propio programa para asemejarlo a la realidad. Y es significativo que de igual manera que el consumo auxiliar disminuye en verano, la fracción solar aumenta de manera clara durante estos meses, viendo que la energía absorbida es mucho mayor.

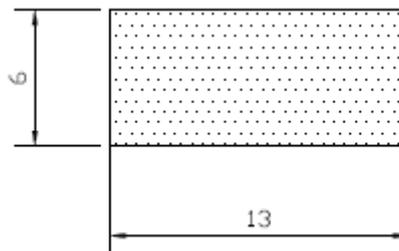
Y en este caso la fracción solar nos va a salir ligeramente superior, pero en unos valores próximos a los nuestros de forma que podemos admitir que

nuestros cálculos se han realizado de una forma bastante aproximada a la realidad.

3.1.1.8 INSTALACIÓN EN LA CUBIERTA DE LOS CAPTADORES SOLARES.

A la hora de colocar los captadores solares sobre nuestra superficie debemos tener en cuenta varios factores: el número de captadores que tenemos que instalar, es decir, para determinar el número de filas posibles, la distancia mínima entre filas para impedir pérdidas por sombras y las dimensiones tanto de los captadores como de la superficie en la que vamos a colocarlos.

La superficie donde colocar los captadores es:



Para estas dimensiones probamos a colocar dos filas de diez captadores cada una. Para ello lo primero que debemos comprobar es la distancia mínima entre filas de captadores.

En función del Pliego de Condiciones del IDAE, tenemos que en función de las dimensiones de nuestro captador y de varios factores tabulados, obtengamos una distancia mínima entre filas de captadores.

“d” corresponde a la distancia mínima medida sobre la horizontal entre filas de captadores con la presencia de obstáculos de altura “h”:

$$d = \frac{h}{\text{tg}(61^\circ - \text{latitud})}$$

Pero en el Pliego nos encontramos con que $\frac{1}{\text{tg}(61^\circ - \text{latitud})} = k$, donde este valor se encuentra tabulado en función de la latitud.

| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| <i>Latitud</i> | 29° | 37° | 39° | 41° | 43° | 45° |
| <i>k</i> | 1,600 | 2,246 | 2,4715 | 2,747 | 3,078 | 3,487 |

Ilustración 32: obtención del parámetro "k".

Para obtener la altura "h", nos fijamos en el dibujo siguiente viendo que "h" para nuestro caso corresponde con la proyección vertical del captador una vez inclinado un ángulo de 50°.

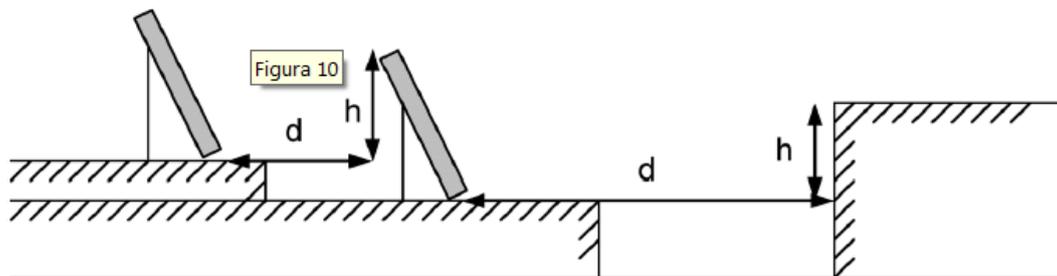


Ilustración 33: ejemplo de magnitudes "h" y "d".

Sabiendo la longitud horizontal de nuestro captador es de 2380mm, el valor "h" se obtiene como:

$$h = \text{sen}50^\circ * 2380\text{mm} = 1823,1857\text{mm}.$$

De forma que estamos dispuestos a calcular el valor de "d" como:

$$d = \frac{h}{2,747\text{mm}} = 663,7\text{mm}.$$

De forma que en nuestra superficie deberemos colocar una distancia mayor que el valor “d” entre filas de captadores. En nuestro caso hemos colocado una distancia de 1500mm, como se aprecia en la siguiente imagen, resultado de la distribución de los captadores en la cubierta:

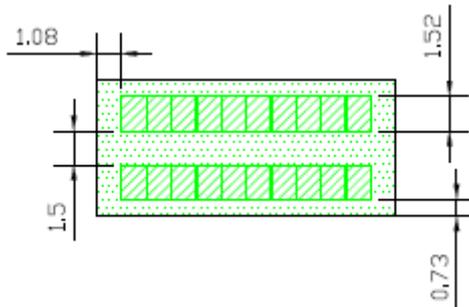


Ilustración 34: visión con captadores colocados.

3.1.2 AEROTERMO.

Los aerotermos son elementos que instalaremos en nuestro sistema de generación de energía mediante captadores solares para tratar de eliminar el excedente de energía. Generalmente se colocan sobre las cubiertas de los edificios junto a los captadores. El funcionamiento es simple: una válvula de tres vías permite el paso del fluido caloportador cuando este supera la temperatura de diseño de los captadores solares, y de este modo se consigue disipar el excedente de energía del ambiente exterior. Se ve claramente en nuestro esquema el modo de funcionamiento con la válvula de tres vías mencionada:

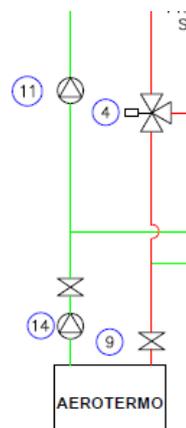


Ilustración 35: aerotermo.



Trabajo Fin de Grado

El fabricante elegido para nuestro aerotermo ha sido INDITER, ya que nos ofrece amplia gama de equipos de aerotermos en instalaciones solares, con una amplia capacidad de disipación según nuestras necesidades. Estos equipos se caracterizan por ser una solución muy compacta, con alto rendimiento al utilizar tubo de Cobre y aletas de Aluminio, así como una gran robustez y resistencia a la corrosión, al disponer de una carcasa exterior construida de acero galvanizado protegido.

Para la elección de nuestro aerotermo tendremos que conocer la potencia que queremos que como mínimo sea capaz de disipar nuestro aerotermo. Para ello, sabiendo que la radiación solar media se puede tomar de $1\text{kW}/\text{m}^2$, teniendo un rendimiento del 75%, sabremos la potencia de disipación ya que también conocemos la superficie de captación:

$$\text{Potencia pico disipación} = \frac{1\text{kW}}{\text{m}^2} * 46,6\text{m}^2 * 0,75 = 34,95\text{kW}.$$

Así que observando los rangos de potencia que INDITER nos ofrece, elegiremos el modelo **ATS-390**, con potencia máxima de 39kW.

| Modelo ATS ATS Model | Potencia Capacity (kW) | Pot. Consum. Power Consump. (w) | Peso Weight (Kg). | Nivel Presión Sonora Sound Pressure Level dB(A) |
|-------------------------|------------------------------|---|-------------------------|--|
| ATS-80 | 8.4 | 46 | 11 | 43 |
| ATS-170 | 17 | 150 | 27 | 48 |
| ATS-240 | 24 | 300 | 36 | 52 |
| ATS-290 | 29 | 300 | 40 | 52 |
| ATS-390 | 39 | 500 | 50 | 54 |
| ATS-500 | 50 | 500 | 52 | 54 |
| ATS-550 | 55 | 660 | 54 | 58 |

Ilustración 36: selección del captador.

3.1.2.1 SELECCIÓN BOMBA AEROTERMO.

La selección de la bomba del aerotermo se realiza teniendo en cuenta que dicha bomba solo va a tener que sobreponerse a las posibles pérdidas de carga que se produzca en el interior de nuestro aerotermo. Las pérdidas de carga que se dan en el mismo son proporcionadas por nuestro fabricante en función del caudal en kg/h.

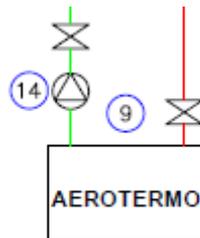


Ilustración 37: situación bomba aerotermo.

- Así que lo primero que tendremos que hacer es calcular el caudal de nuestro aerotermo. Nos basaremos en la utilización de dicha fórmula:
- $Potencia\ disipación = flujo\ másico * C_p * \Delta T$
- Sabemos que la potencia de disipación para nuestro aerotermo es de 34,95kW. El C_p del agua en este caso es 4,18KJ/kgK. El salto térmico que puede producirse en un aerotermo, en función de lo que nos puede decir la experiencia es de 20°C. De forma que con estas unidades el caudal de flujo másico lo obtenemos en kg/s, pero sabemos que al ser la densidad del agua 1kg/m³, será lo mismo que litros/s.

Por tanto el flujo másico nos queda igual a 0,83 kg/s, que es lo mismo que 3010,1 kg/hora. De forma que entrando en la tabla que nos ofrece el fabricante tendremos una pérdida de carga de 1,178 m.c.a.

Tabla de Perdidas de Carga (m.c.a.) VS Caudal (Kg/h) (Fluido: Agua+30% glicol)

| Caudal(Kg/h) | ATS-80 | ATS-170 | ATS-240 | ATS-290 | ATS-390 | ATS-500 | ATS-550 |
|--------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 194 | 0,139 | | | | | | |
| 389 | 0,477 | | | | | | |
| 583 | 0,982 | | | | | | |
| 777 | 1,638 | 0,292 | | | | | |
| 971 | 2,438 | 0,435 | | | | | |
| 1166 | | 0,602 | 0,474 | | | | |
| 1360 | | 0,792 | 0,624 | 0,532 | | | |
| 1554 | | 1,005 | 0,793 | 0,676 | | | |
| 1748 | | 1,24 | 0,979 | 0,836 | 0,419 | | |
| 1943 | | 1,497 | 1,183 | 1,01 | 0,507 | | |
| 2137 | | 1,775 | 1,403 | 1,199 | 0,601 | 0,865 | |
| 2331 | | | 1,64 | 1,402 | 0,703 | 1,01 | 1,004 |
| 2526 | | | 1,893 | 1,62 | 0,811 | 1,165 | 1,158 |
| 2720 | | | 2,163 | 1,851 | 0,927 | 1,33 | 1,322 |
| 2914 | | | 2,448 | 2,096 | 1,049 | 1,504 | 1,495 |
| 3108 | | | | 2,354 | 1,178 | 1,688 | 1,677 |
| 3303 | | | | 2,626 | 1,314 | 1,88 | 1,869 |
| 3497 | | | | 2,911 | 1,456 | 2,083 | 2,07 |
| 3691 | | | | 3,209 | 1,604 | 2,294 | 2,28 |
| 3885 | | | | 3,521 | 1,759 | 2,514 | 2,499 |
| 4080 | | | | 3,845 | 1,921 | 2,743 | 2,727 |
| 4274 | | | | 4,181 | 2,088 | 2,981 | 2,963 |
| 4468 | | | | | 2,262 | 3,227 | 3,208 |
| 4662 | | | | | 2,442 | 3,482 | 3,462 |
| 4857 | | | | | 2,629 | 3,746 | 3,724 |
| 5051 | | | | | 2,821 | 4,018 | 3,994 |
| 5245 | | | | | | | 4,273 |
| 5440 | | | | | | | 4,561 |

Ilustración 38: pérdida de carga en el aerotermo.

Una vez son conocidos tanto el caudal como las pérdidas, solo nos falta seleccionar en las curvas características de las bombas, ajustando a la curva que mejor se adapte a nuestro punto de funcionamiento. Para ello tenemos que tener el caudal en las unidades correspondientes a las bombas, por tanto 0,83 kg/s son 2,988 m³/hora.

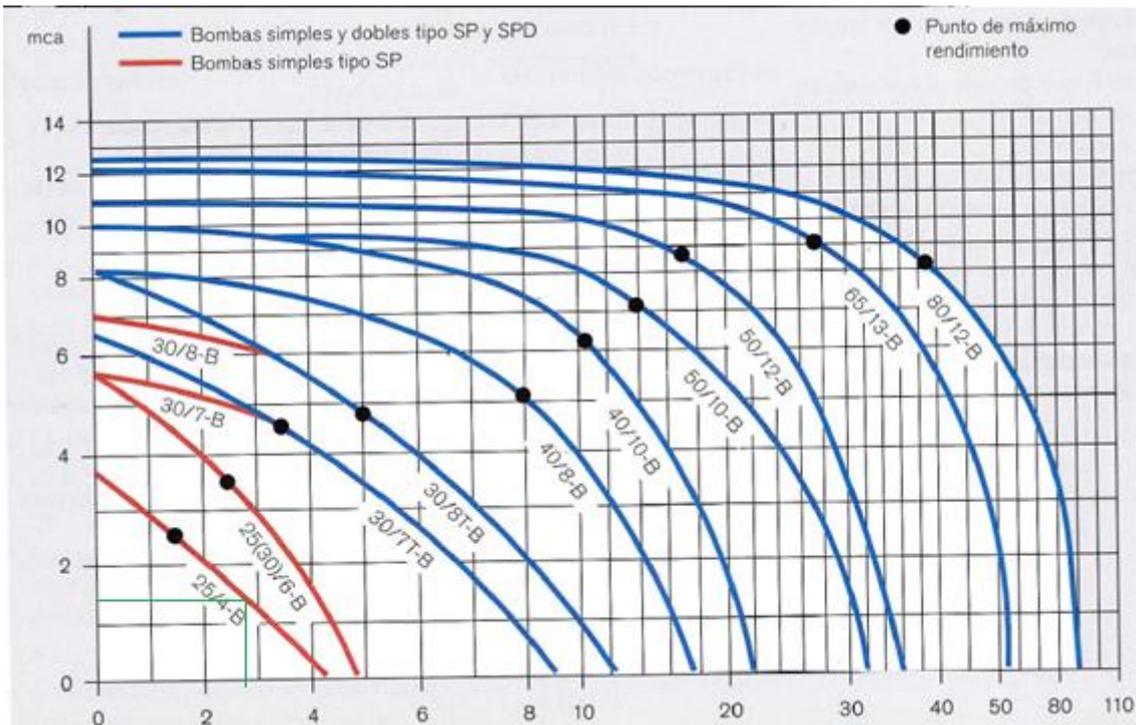


Ilustración 39: selección bomba aerotermo.

La bomba seleccionada corresponde al modelo 25/4-B, ya que su curva característica es la que más próxima se encuentra a nuestro punto en cuestión. Esta bomba se trata de una bomba de la casa SEDICAL de toro húmedo tipo SP. Este tipo de bombas son especiales para bombear fluidos caloportadores con hasta un 50% de glicol en la mezcla.



3.1.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA DEL PRIMARIO SOLAR.

La bomba del primario solar va a tener la función de hacer circular el fluido caloportador para que llegue hasta los paneles solares y posteriormente al interacumulador. Dicha bomba debe suministrar la energía suficiente para vencer las pérdidas que se producirán en los captadores solares, en el paso por la válvula de tres vías y el serpentín del interacumulador. Como en todo el proyecto, despreciamos las pérdidas en las tuberías.

Las pérdidas que va a tener que “superar” nuestra bomba son:

- Pérdidas producidas en los captadores: buscando en las instrucciones de planificación de nuestro fabricante VIESSMANN, para nuestros paneles nos daban unas pérdidas de carga de 100 mm.c.a por panel, de forma que en el conjunto global las pérdidas serán de 2 m.c.a.
- Pérdidas producidas en la válvula de tres vías: consultando el catálogo de válvula de tres vías, miraremos el coeficiente K_{vs} que nos determina para un caudal determinado las pérdidas de carga. El caudal del circuito solar será el mismo que circula por el aerotermo de forma que tenemos 0,83 kg/s que es equivalente a 2,988 m³/hora. Como se ve en la siguiente gráfica, las pérdidas las encontraremos con la pérdida de presión que serán aproximadamente de 110 mbar, y encontraremos el punto de 1200 mm.c.a.

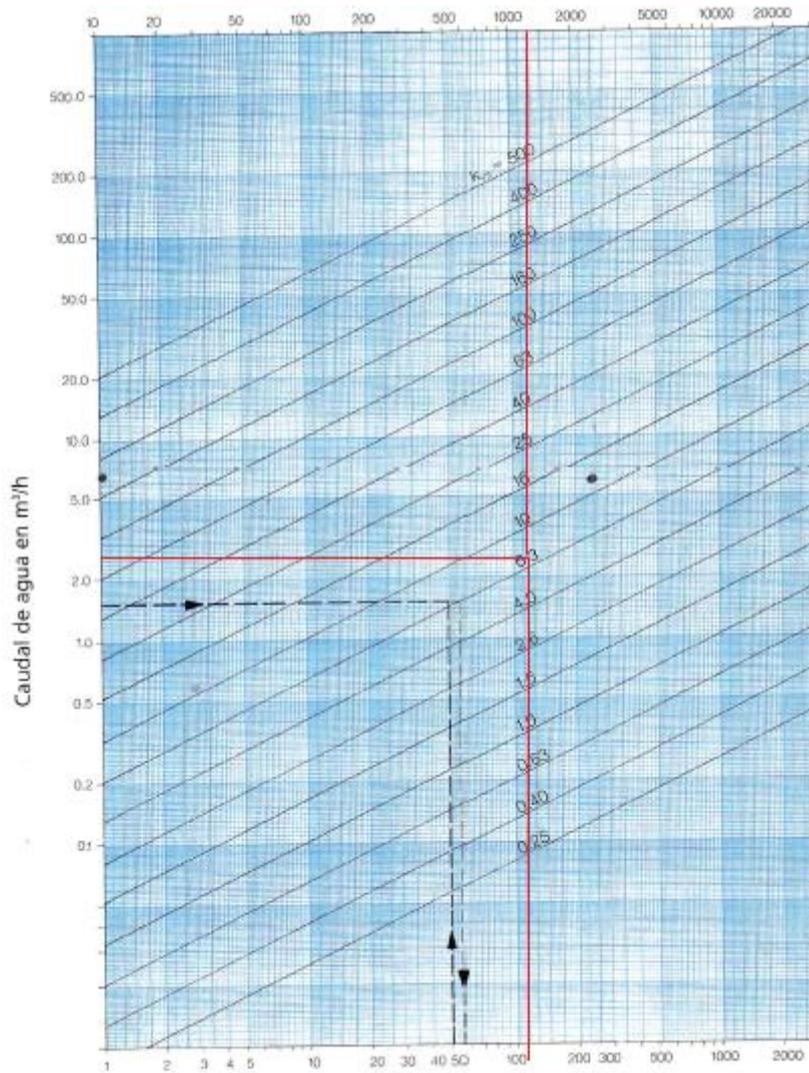


Ilustración 40: pérdida de carga en válvula.

- Pérdidas en el serpentín del interacumulador: a continuación elegiremos el interacumulador, pero para este paso es necesario conocer el dato de las pérdidas que se producen en el mismo, así que podemos adelantar que las pérdidas son de 0,6 m.c.a.

De forma que la cantidad de pérdidas será igual a la suma de: $2+1,2+0,6=3,8$ m.c.a. Y con el caudal constante para el circuito primario de $2,988$ ³/hora elegiremos este modelo de bomba en función de su curva característica, que se acerca de mejor manera a nuestro punto de rendimiento:

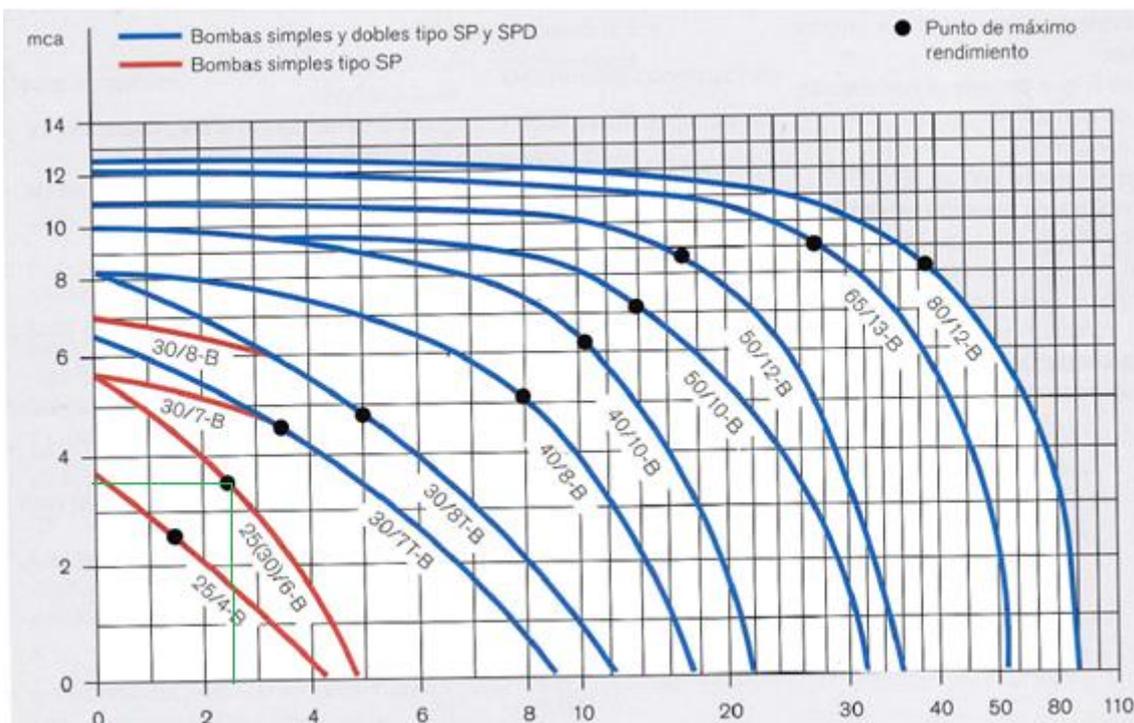


Ilustración 41: selección bomba primario solar.

El tipo de bomba elegido de nuevo vuelve a ser una bomba de SEDICAL de rotor húmedo, una bomba simple de tipo SP 25/6-B. En este caso podemos observar como la bomba se encuentra cerca de su rendimiento máximo.



3.1.4 SELECCIÓN DEL INTERACUMULADOR.

Tal y como nos dice el CTE, a la hora de elegir nuestro interacumulador vamos a tener capacidad regularizadas que van desde los 750 litros hasta los 3000 litros. En nuestro caso, como la demanda máxima en un día llega a los 6000 litros, podemos ponernos en caso de que en un momento determinado, la mitad de la demanda se consume en un período corto de tiempo, es decir, que se reúne en nuestros vestuarios gente que utilizará como mucho la mitad nuestra demanda, que es algo improbable, pero a la hora de diseñar nuestro interacumulador nos ponemos en esta situación tan desfavorable.

Observando varios proveedores de interacumuladores, nos encontramos con THERMOR, que nos ofrece soluciones tan variadas como las que nos marca el propio CTE. De forma que nuestro caso, nos viene perfecto elegir un interacumulador de gran capacidad de esta casa, es decir de 3000 litros. Además la Normativa nos sugiere que toda el agua almacenada se intente almacenar en un solo depósito.

Dichos interacumuladores se caracterizan por el ahorro energético desde la instalación al ambiente. A su vez, un mayor volumen de agua en un depósito permite reducir las pérdidas de energía, comparándolo con varios depósitos de menor capacidad. Reduciendo las pérdidas conseguiremos aumentar su eficiencia, que es muy importante en las instalaciones solares térmicas. Gracias a los serpentines de alta potencia que incorporan los interacumuladores de gran capacidad THERMOR, dicha transferencia energética desde la captación solar al agua que queremos calentar se produce rápidamente.

Las características básicas que nos da el fabricante son:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

| Modelo | | IAS 750 | IAS 1000 | IAS 1500 | IAS 2000 | IAS 3000 |
|--|-------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Código | | 090612 | 090613 | 090614 | 090615 | 090616 |
| Capacidad | L | 750 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 |
| Presión máx servicio | bar | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Temperatura máx servicio depósito | °C | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| Temperatura máx servicio intercambiador | °C | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| Superficie de intercambio | m ² | 2,5 | 2,4 | 4,2 | 4,5 | 5,2 |
| Volumen intercambiador | L | 15,39 | 14,2 | 24,6 | 27,08 | 30,75 |
| Producción horaria T 35°C [80/60-10/45]* | L/h | 2317 | 2526 | 4150 | 4870 | 6364 |
| Producción 10 min T 35°C [80/60-10/45]* | L | 1056 | 1314 | 2031 | 2603 | 3330 |
| Potencia intercambiador | kW | 61 | 59 | 103 | 110 | 128 |
| Caudal intercambiador | m ³ /h | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Pérdida de carga | mca | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,6 |
| 1- Toma vaciado | ØH | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 |
| 2- Toma entrada agua fría | ØH | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 |
| 3- Toma retorno primario | ØH | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 |
| 4- Toma para medición de temperatura | ØH | 1/2" | 1/2" | 1/2" | 1/2" | 1/2" |
| 5- Toma impulsión primario | ØH | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 |
| 6- Recirculación ACS | ØH | 1" | 1" | 1" | 1" | 1" |
| 7- Ánodo de magnesio | ØH | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 |
| 8- Toma salida ACS | ØH | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 | 1" 1/4 |

Ilustración 42: características interacumulador.

Como dato a resaltar tendremos la pérdida de carga para nuestro modelo de capacidad de 3000 litros es de 0,6 m.c.a. Este dato lo utilizaremos posteriormente para los cálculos de la bomba del primario solar.

3.2 SISTEMA DE APOYO SOLAR.

Como hemos podido comprobar a lo largo del desarrollo que llevamos hasta este punto, para nuestra demanda energética por el volumen de utilización de las duchas y por las características de nuestra instalación solar, no somos capaces de calentar toda el agua utilizando energía solar. Por este motivo, va a ser necesario instalar un sistema de apoyo. Este sistema de apoyo va a ser una caldera de gas natural, en condiciones de baja temperatura (se denomina condiciones de baja temperatura por el rango de valores que tenemos).



3.2.1 SISTEMAS CON ACUMULACIÓN.

En función de la *guía técnica de agua caliente sanitaria central*, se nos ofrece un método de cómo calcular tanto la caldera como la capacidad del depósito de acumulación. La producción de ACS está determinada por la relación “potencia/capacidad de acumulación”. Se denominan sistemas de acumulación a aquellos cuyo volumen cubre la hora punta. Esto quiere decir que la potencia de nuestra caldera tendrá que ser capaz de calentar dicho volumen en un tiempo determinado. Y además nuestro depósito de acumulación tiene que ser capaz de albergar este volumen.

El dimensionado de la caldera debe hacerse para el caso más desfavorable posible, es decir, el caso en el que el sistema solar no pueda aportarnos nada de energía, ya que en un momento no existe radiación o no es tan intensa como para calentar el agua. De forma que la caldera va a tener que ser capaz de calentar el agua demandada en un cierto tiempo con un salto térmico diferente para cada mes del año, de lo que siguiendo dicha guía obtendremos su potencia nominal.

Como nos aconseja la guía, las hipótesis conservadoras que hacen que los sistemas no presenten problemas de funcionamiento son tomar como consumo en la hora denominada como punta el 50% del consumo medio diario, sabiendo que en instalaciones deportivas se suelen tener más horas punta que en otras aplicaciones.

Vamos a realizar un cálculo simultáneo tanto de la potencia nominal de la caldera y del volumen del depósito de acumulación.

Lo primero de todo recordamos que el consumo diario calculado anteriormente es de 6000 litros al día de ACS a 60°C. Con una hipótesis de consumo en la hora punta del 50% para asegurarnos de manera clara, tendremos por tanto un consumo en la punta de 3000 litros. Pero además si suponemos una acumulación del 80% en la hora punta, significa que nuestra capacidad de acumulación queda en 2400 litros para el caso más desfavorable.

Consultando las capacidades de dichos depósitos de acumulación vemos que los volúmenes normalizados son de 2500 litros, 3000litros y 4000 litros



Trabajo Fin de Grado

mayoritariamente, de forma que al tener un límite en torno a los 2500litros, consideramos que la mejor opción podrá ser elegir un depósito mayor pero influirá en la selección de la potencia de caldera, de forma que elegimos un depósito de 4000 litros teniendo unas dimensiones de:

- Altura del depósito (H)=2500mm.
- Diámetro del depósito (D)=1430mm.

Haber elegido este depósito nos asegura que por el tipo de instalación que tenemos, que no sigue unos períodos de uso determinados, de forma que al tener este tamaño sobredimensionado, nos podemos permitir una mayor seguridad de aportar ACS a los usuarios.

El depósito es de la casa LAPESA.

Todos los datos de la demanda y coberturas en las horas punta queda resumido en la siguiente tabla:

| MESES | DEMANDA(L/día a 60°C) | Número de días por mes. | DEMANDA MENSUAL (L/mes a 60°C) | Consumo en la hora punta50% | Capacidad de acumulación 80% |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Enero | 6000 | 31 | 186000 | 3000 | 2400 |
| Febrero | 6000 | 28 | 168000 | 3000 | 2400 |
| Marzo | 6000 | 30 | 180000 | 3000 | 2400 |
| Abril | 6000 | 31 | 186000 | 3000 | 2400 |
| Mayo | 6000 | 30 | 180000 | 3000 | 2400 |
| Junio | 0 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| Julio | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| Agosto | 4500 | 31 | 139500 | 2250 | 1800 |
| Septiembre | 6000 | 30 | 180000 | 3000 | 2400 |
| Octubre | 6000 | 31 | 186000 | 3000 | 2400 |
| Noviembre | 6000 | 30 | 180000 | 3000 | 2400 |
| Diciembre | 6000 | 31 | 186000 | 3000 | 2400 |

La elección de la potencia de la caldera es un cálculo simple: debemos determinar cuánta cantidad de agua vamos a querer calentar y en cuanto tiempo. Utilizando la conocida expresión de la potencia:

$$Q = m * Cp * \Delta T$$



Trabajo Fin de Grado

La cantidad de agua que queremos calentar la hemos determinado en la elección de nuestro depósito. El salto térmico al que debemos hacer frente será diferente para cada mes del año, pero para obtener la potencia nominal de la caldera, tenemos que pensar que nos encontramos en la situación más desfavorable que corresponde cuando el agua de red se encontraba a una temperatura de unos 7°C, de forma que el salto térmico rondara los 55°C si queremos calentar nuestro agua a 60°C.

Por tanto la energía demandada para calentar nuestra agua será:

$$Q = 4000kg * \frac{1000gr}{1kg} * \frac{1cal}{gr^{\circ}C} * \frac{4,18J}{1cal} * 50^{\circ}C * \frac{1}{1000} = 919600KJ.$$

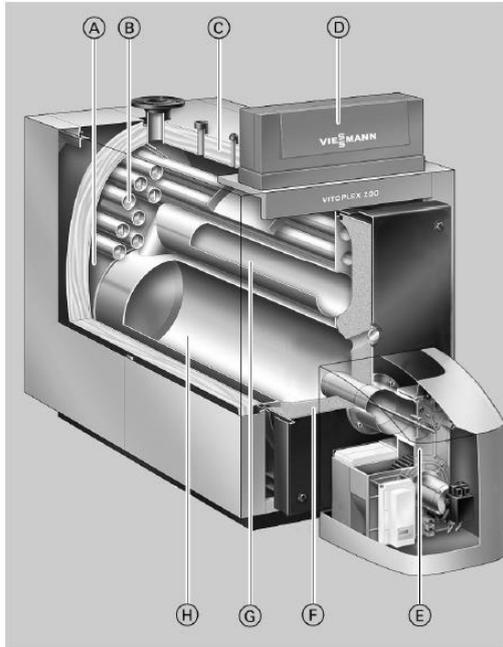
De manera que para obtener la potencia nominal, suponemos un tiempo de recuperación de más o menos de 1,4 horas=5110 seg, que puede ser un tiempo razonable en este tipo de instalación conforme a la duración de los entrenamientos de fútbol. Además recordamos que nos encontramos en la peor situación, es decir, sin ayuda del sistema solar y suponiendo que un servicio se haya consumido todo el agua. Así que la potencia de nuestra caldera es de :

$$Potencia = \frac{919600KJ}{5110seg} \approx 180KW$$

Con esta potencia de caldera, consultamos diferentes modelos y elegimos de la casa VIESSMANN la caldera “Vitoplex 200”, ya que la casa VIESSMANN nos ofrece gran calidad y se trata de una caldera de baja temperatura que cumple con los requisitos de nuestra potencia recientemente calculada. Elegiremos la potencia inmediatamente superior que corresponde a la de 200kW, que se ajusta bastante bien a nuestras necesidades.

Esta potencia nominal nos servirá posteriormente para elegir nuestro intercambiador, ya que se encuentra influenciado por la caldera de modo que la potencia de la caldera debe ser muy similar a la potencia que deba ser capaz de dar nuestro intercambiador.

Una visión general del interior de nuestra caldera:



- Ⓐ Amplias cámaras de agua y grandes volúmenes de agua para un excelente efecto termosifón y una sencilla integración hidráulica
- Ⓑ Tercer paso de humos
- Ⓒ Aislamiento térmico de alta eficacia
- Ⓓ Vitotronic, la nueva generación de regulaciones: inteligente, de montaje, manejo y mantenimiento sencillos
- Ⓔ Quemador Unit de Viessmann Vitoflame 100
- Ⓕ Aislamiento térmico de la puerta de la caldera
- Ⓖ Segundo paso de humos
- Ⓗ Cámara de combustión

Ilustración 43: visión general de nuestra caldera.

Como siempre, necesitaremos posteriormente para el cálculo de la bomba el dato de la pérdida de carga en la misma. En este caso el fabricante no da una curva obtenida tras múltiples ensayos en los que en función del caudal obtendremos sus pérdidas. Pero ahora entra en cuestión la determinación del caudal de la caldera que viene determinado por el caudal que regula nuestro intercambiador. Para el lado correspondiente, nuestro intercambiador podemos adelantar que ofrece un caudal de 6483 litros/hora, que podremos tomar aproximadamente como 6500 litros/hora, pero en la gráfica entramos con 6,5 m³/hora.

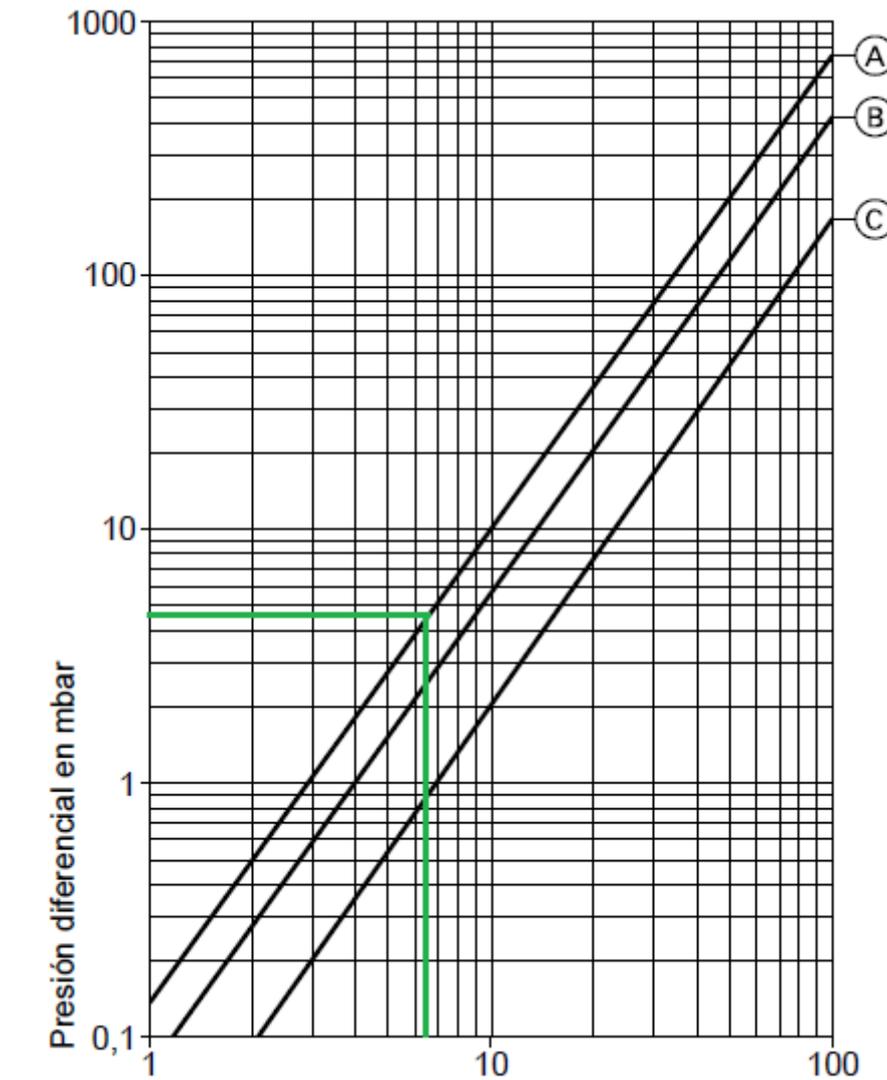


Ilustración 44: pérdida de carga en caldera.

Nuestro modelo corresponde a la curva A. De forma que en la intersección obtenemos unas pérdidas de carga de 4,6 mbar, que son 0,046 m.c.a. Una pérdida de carga casi despreciable.

3.2.2 SELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS.

Primero visualizamos la localización de nuestro intercambiador de placas en el circuito de la caldera.

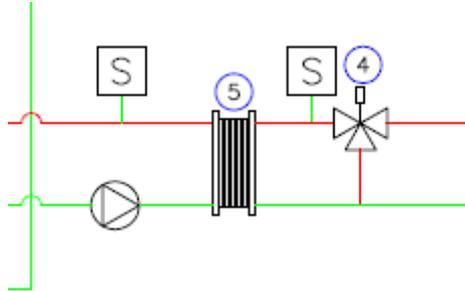


Ilustración 45: intercambiador de placas.

Como sabemos, en el intercambiador se va a producir una transferencia de energía por parte del agua calentada previamente en la caldera, al agua de consumo. Este sistema se realiza de esta forma para que el agua del circuito de la caldera no entre en contacto con el agua de red.

El sistema de intercambio de calor entre las diferentes “aguas” estará regulado por las dos sondas de temperatura. Como se aprecia en el dibujo, cuando la temperatura a la entrada del intercambiador sea suficientemente elevada, el sistema de regulación provocará que la válvula de tres vías recircule el agua, ya que no es necesario que se produzca más intercambio de energía.

Para elegir el intercambiador de placas, hemos acudido al catálogo de SEDICAL, y hemos visto que en función del caudal máximo admisible en nuestra instalación, (que en el circuito de caldera recordamos que el máximo era de unos 3000 litros/hora), de unos límites de temperatura de manera aproximada y de la potencia de intercambio determinada por nuestra caldera, encontramos un modelo de intercambiador que se adapta perfectamente a nuestras condiciones de trabajo.

| Proceso Caldera ACS | | Normal | | Conexión Ø |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|---------------|
| Potencia kW | Producción ACS l/h | Caudal caldera l/h | Δp kPa | |
| 52 | 1.000 | 1.842 | 7 | R 1¼" |
| 78 | 1.500 | 2.763 | 10 | |
| 105 | 2.000 | 3.720 | 10 | |
| 131 | 2.500 | 4.641 | 10 | |
| 157 | 3.000 | 5.562 | 10 | |
| 183 | 3.500 | 6.483 | 11 | |
| 209 | 4.000 | 7.404 | 12 | |
| 262 | 5.000 | 9.282 | 13 | |
| 314 | 6.000 | 11.124 | 13 | |
| 366 | 7.000 | 12.966 | 15 | |

Ilustración 46: selección del intercambiador.

Nos aseguramos con la elección de un modelo de producción de ACS superior. Como vemos en la ilustración, tenemos un rango de temperaturas que se asemeja bastante a nuestras temperaturas, ya que para que se produzca dicho intercambio de calor entre el agua de la caldera y el agua de consumo para conseguir unos 70-60°C, debemos calentar primero el agua del circuito de apoyo a uno 80°C, según lo que nos dice la experiencia. Este intercambiador nos establece las posibles pérdidas de presión en la caldera y en el ACS, que lo hemos utilizado ya previamente para obtener las pérdidas de carga producidas por las válvulas de tres vías.

La pérdida de carga en el intercambiador para dimensionar la bomba del primario solar, se obtiene directamente de los datos proporcionados por el fabricante, que en este caso, como la bomba la encontramos en el lado del circuito de la caldera, tendremos unas pérdidas de 27kPa, que corresponden a unas pérdidas en m.c.a de 2,75.

3.2.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA DE LA VÁLVULA DE TRES VÍAS.

Utilizando la misma gráfica que para la válvula del sistema solar, en función del caudal establecido por el intercambiador de 6500 litros/hora y de las pérdidas de presión en el intercambiador en el circuito de caldera de 27 kPa, obtenemos con la gráfica correspondiente unas pérdidas de: 2,75 m.c.a:

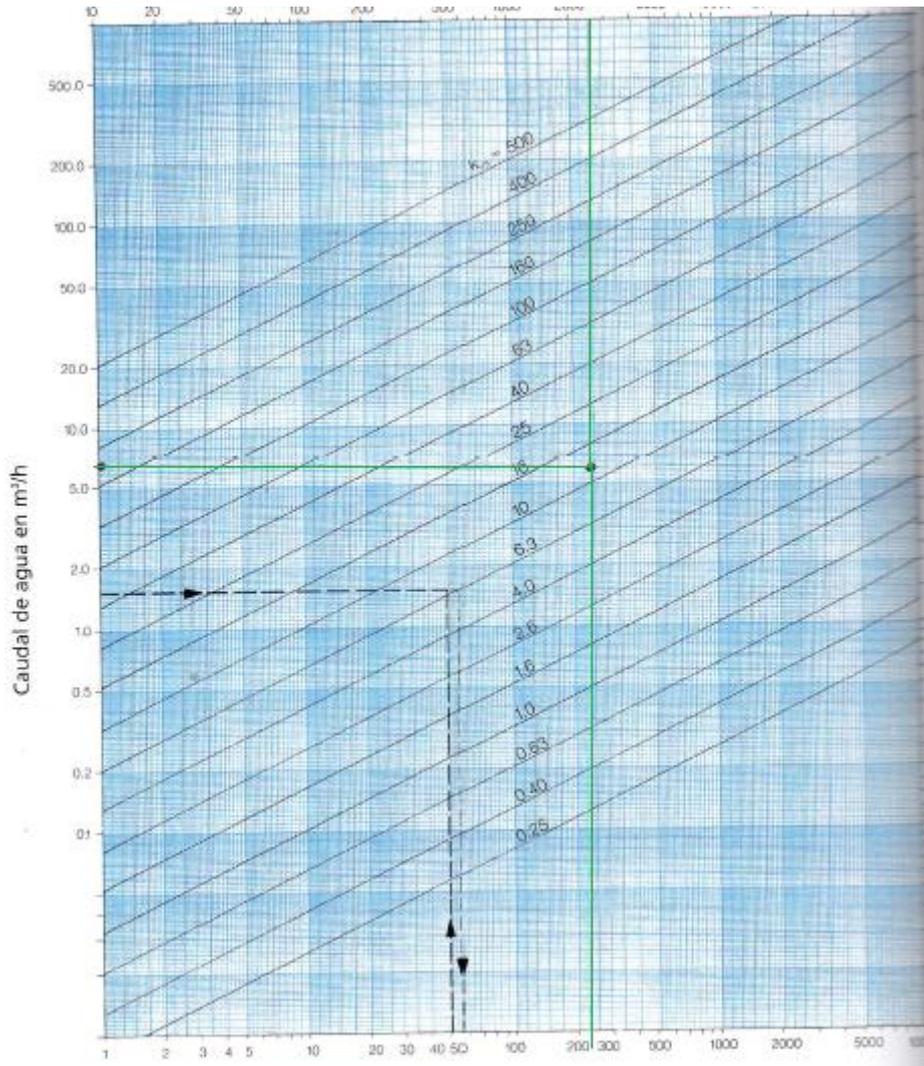


Ilustración 47: pérdida de carga en válvula.

3.2.4 SELECCIÓN DE BOMBA DEL CIRCUITO DE APOYO SOLAR.

La selección de la bomba del sistema de apoyo solar se realizará igual que el resto. Pero en este caso, la bomba deberá ser capaz de hacer frente a las pérdidas producidas en el intercambiador de placas, en la caldera y en la válvula de tres vías.

Como ya hemos calculado anteriormente, vamos a tener una pérdida de carga total para el circuito, despreciando el paso por tuberías de: $2,75+0,046+2,75=5,546$ m.c.a. El caudal en este caso es de $3,5$ m³/hora. Así que la bomba elegida será una bomba SEDICAL en línea para ACS, de ejecución en bronce de tipo SIM de modelo 50-105.1/B.

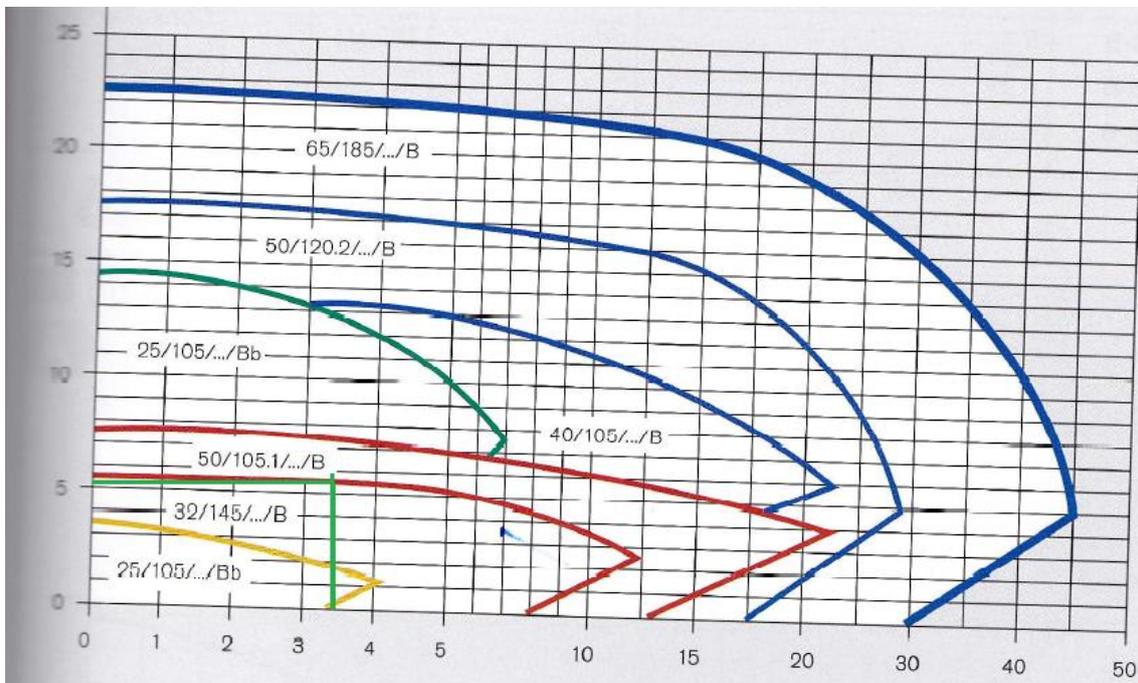


Ilustración 48: selección bomba caldera.



4. BIBLIOGRAFÍA.

- <http://www.sedical.com/>
- <http://inditer.es/>
- <http://www.lapesa.es/es>
- <https://www.google.es/maps/>

5. ANEJO 1.

En este anejo encontraremos los planos.

- Plano 1: corresponde a un esquema general de la instalación.
- Plano 2: corresponde a las diferentes vistas de los captadores sobre la cubierta donde han sido colocados.