



## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN UN HOTEL**

---

AUTOR: Francisco Javier Salvá Becerra

TUTOR: José Julio Guerra Macho



## Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# Instalación solar para producción de ACS en un hotel

Autor:

Francisco Javier Salvá Becerra

Tutor:

D. José Guerra Macho

Catedrático de Universidad

Departamento de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



# ÍNCICE

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | MEMORIA DESCRIPTIVA.....                         | 10 |
| 1.1.   | Objeto del proyecto .....                        | 11 |
| 1.2.   | Antecedentes .....                               | 11 |
| 1.3.   | Método de cálculo.....                           | 12 |
| 1.4.   | Descripción del edificio .....                   | 16 |
| 1.5.   | Descripción de la instalación.....               | 18 |
| 1.5.1. | Principio de funcionamiento .....                | 18 |
| 1.5.2. | Elementos principales de la instalación .....    | 20 |
| 1.6.   | Características técnicas de los equipos.....     | 26 |
| 1.7.   | Normativa.....                                   | 31 |
| 1.8.   | Bibliografía .....                               | 36 |
| 2.     | MEMORIA DE CÁLCULO.....                          | 37 |
| 2.1.   | Introducción .....                               | 38 |
| 2.2.   | Datos de partida.....                            | 38 |
| 2.2.1. | Ubicación.....                                   | 38 |
| 2.2.2. | Parámetros climáticos.....                       | 38 |
| 2.3.   | Estimación de la demanda .....                   | 43 |
| 2.3.1. | Cálculo del consumo .....                        | 43 |
| 2.3.2. | Cálculo de la demanda .....                      | 44 |
| 2.4.   | Sistema de captación .....                       | 46 |
| 2.4.1. | Elección de la superficie de captación .....     | 47 |
| 2.4.2. | Disposición de los captadores .....              | 55 |
| 2.5.   | Cálculo del sistema de acumulación solar. ....   | 59 |
| 2.6.   | Sistema hidráulico.....                          | 60 |
| 2.6.1. | Fluido de trabajo del circuito primario.....     | 60 |
| 2.6.2. | Pérdidas de carga en el Circuito Primario .....  | 62 |
| 2.6.3. | Selección de la bomba del circuito primario..... | 68 |
| 2.6.4. | Selección del vaso de expansión.....             | 70 |
| 2.7.   | Aislamiento térmico de las instalaciones.....    | 72 |
| 2.7.1. | Aislamiento en tuberías y accesorios.....        | 72 |
| 2.7.2. | Aislamiento en depósito de acumulación .....     | 74 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 2.7.3.  | Aislamiento del Vaso de Expansión.....      | 74  |
| 2.8.    | SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL .....      | 74  |
| 2.8.1.  | Equipos de Regulación y Control.....        | 76  |
| 2.9.    | SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR.....            | 77  |
| 2.9.1.  | Volumen de Acumulación Convencional.....    | 77  |
| 2.9.2.  | Selección de la caldera .....               | 80  |
| 3.      | Pliego de condiciones técnicas.....         | 82  |
| 3.1.    | Objeto.....                                 | 83  |
| 3.2.    | Normativa aplicable .....                   | 83  |
| 3.3.    | Condiciones de materiales y equipo .....    | 84  |
| 3.3.1.  | Tuberías y accesorios .....                 | 84  |
| 3.3.2.  | Válvulas .....                              | 87  |
| 3.3.3.  | Aislamiento.....                            | 89  |
| 3.3.4.  | Vasos de expansión .....                    | 89  |
| 3.3.5.  | Bombas.....                                 | 90  |
| 3.3.6.  | Captadores .....                            | 91  |
| 3.3.7.  | Sistema eléctrico y de control.....         | 93  |
| 3.3.8.  | Aparatos de medida .....                    | 93  |
| 3.3.9.  | Acumuladores .....                          | 95  |
| 3.3.10. | Intercambiadores de calor .....             | 96  |
| 3.4.    | Provisión del material .....                | 97  |
| 3.5.    | Condiciones de montaje.....                 | 97  |
| 3.6.    | Pruebas, puesta en marcha y recepción ..... | 97  |
| 3.6.1.  | General .....                               | 97  |
| 3.6.2.  | Pruebas parciales .....                     | 98  |
| 3.6.3.  | Pruebas finales .....                       | 99  |
| 3.6.4.  | Ajustes y equilibrado .....                 | 99  |
| 3.6.5.  | Recepción .....                             | 100 |
| 3.7.    | Mantenimiento .....                         | 101 |
| 3.7.1.  | Vigilancia .....                            | 102 |
| 3.7.2.  | Mantenimiento preventivo .....              | 102 |
| 3.7.3.  | Mantenimiento correctivo .....              | 102 |
| 4.      | Presupuesto .....                           | 103 |

|      |                             |     |
|------|-----------------------------|-----|
| 4.1. | Sistema de captación .....  | 104 |
| 4.2. | Sistema de acumulación..... | 104 |
| 4.3. | Sistema hidráulico .....    | 105 |
| 4.4. | Sistema de control.....     | 105 |
| 5.   | Planos .....                | 107 |
| 6.   | ANEXOS .....                | 114 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Correlación entre X e Y para cálculo de f mensual.....   | 13 |
| Figura 2: Curvas de corrección por caudal.....   | 14 |
| Figura 3: Curva de corrección por agrupación.....  | 14 |
| Figura 4: Curva de factor de corrección de almacenamiento.....   | 15 |
| Figura 5: Hotel Villa Padierna.....  | 17 |
| Figura 6: Hotel Villa Padierna.....  | 17 |
| Figura 7: Caldera VIESSMANN VITOPLEX 300/345.....  | 18 |
| Figura 8: Ficha técnica de las calderas.....   | 19 |
| Figura 9: Esquema de la instalación.....   | 20 |
| Figura 10: esquema de conexión de los captadores.....  | 22 |
| Figura 11: Captador seleccionado.....  | 28 |
| Figura 12: Interacumulador MASTER INOX con serpentines de la serie MXV-4000-SSB.....                                     | 28 |
| Figura 13: Gráfico de funcionamiento de la bomba seleccionada.....   | 29 |
| Figura 14: Bomba GRUNDFOS modelo MAGNA 32-60N.....   | 29 |
| Figura 15: Dimensiones bomba GRUNDFOS modelo MAGNA 32-60N.....   | 29 |
| Figura 16: Características del vaso de expansión seleccionado.....   | 30 |
| Figura 17: Vaso de expansión.....  | 31 |
| Figura 18: Fracción mensual de cobertura solar.....  | 32 |
| Figura 19: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación..... | 33 |
| Figura 20: Demanda de energía térmica en MJ para cada mes.....   | 46 |
| Figura 21: Distribución de zonas climáticas.....   | 46 |
| Figura 22: Corrección captador-intercambiador de calor.....  | 49 |
| Figura 23: Factor de corrección por almacenamiento.....  | 50 |
| Figura 24: Fracción media anual cubierta de la demanda anual en función de la superficie total de captación.....         | 51 |
| Figura 25: Correlación entre X e Y para cálculo de f mensual.....  | 53 |
| Figura 26: Fracción mensual de la cobertura solar.....   | 53 |
| Figura 27: Producción energética solar y energía de apoyo necesaria.....   | 55 |
| Figura 28: Disposición de los captadores.....  | 55 |
| Figura 29: Límites para las pérdidas expuestos por el constante.....   | 56 |
| Figura 30: Cálculo de los límites de inclinación.....  | 57 |
| Figura 31: Esquema de la distancia mínima entre elementos.....   | 58 |
| Figura 32: Pérdidas de carga en Interacumulador Modelo MXV-4000-SBB. ....  | 63 |
| Figura 33: Tramos de las tuberías.....   | 64 |
| Figura 34: Selección de diámetros de tuberías de cobre.....  | 64 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 35: Bomba del circuito primario GRUNDFOS,MAGNA 32-60 N..... | 69 |
| Figura 36: Sistema de regulación Vitosolic 200.....                | 76 |
| Figura 37: Caldera de consumo a gas VITOCROSSAL 200 VIESSMANN..... | 81 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Irradiación global media mensual sobre una superficie horizontal en Marbella (UNE 94003:2007).....         | 39 |
| Tabla 2: Declinación solar a través de la aproximación de Cooper para cada día característico de cada mes.....      | 40 |
| Tabla 3: Irradiación Extraterrestre horizontal para latitud – en Marbella.....                                      | 41 |
| Tabla 4: Índice de Claridad $k_t$ .....   | 41 |
| Tabla 5: Radiación Solar media mensual en superficie inclinada para cada mes.....                                   | 43 |
| Tabla 6: Temperatura ambiente media mensual en Sevilla.....   | 43 |
| Tabla 7: Consumo unitario diario medio CTE (HE4).....   | 44 |
| Tabla 8: Valores mínimos entre dormitorios y personas según el CTE (HE4).....                                       | 44 |
| Tabla 9: Temperatura diaria media mensual de agua fría en Sevilla para altura de referencia UNE 94002.....          | 45 |
| Tabla 10: Demanda de energía térmica en MJ para cada mes.....   | 45 |
| Tabla 11: Factor corrector por demanda, por volumen de acumulación e intercambiador.....                            | 50 |
| Tabla 12: Valores mensuales de los parámetro X e Y.....   | 51 |
| Tabla 13: Energía útil mensual mediante factor f.....   | 53 |
| Tabla 14: Orientación e inclinación de nuestra instalación.....   | 56 |
| Tabla 15: Temperaturas máximas y mínimas en Marbella.....   | 61 |
| Tabla 16: Cálculo de diámetros para cada tramo del circuito primario.....   | 65 |
| Tabla 17: Factor K adimensional de accesorios para pérdida de carga.....  | 67 |
| Tabla 18: Pérdida de carga total por tramos.....  | 67 |
| Tabla 19: Circuito de mayor pérdida de carga.....   | 68 |
| Tabla 20: Volumen de agua total en tuberías.....  | 70 |
| Tabla 21: Resumen del volumen total de agua en la instalación.....  | 71 |
| Tabla 22: Datos obtenidos del modelo diseñado por excell.....   | 71 |
| Tabla 23: Espesor de aislamiento para tuberías calientes que discurren por el interior y exterior del edificio..... | 72 |
| Tabla 24: Espesor de aislamiento para tuberías calientes que discurren por el interior y exterior del edificio..... | 73 |
| Tabla 25: Cálculo del caudal simultáneo UNE: 14201.....   | 77 |
| Tabla 26: Cálculo del caudal instantáneo CTE HS4.....   | 78 |
| Tabla 27: Puntos de consumo de la instalación.....  | 78 |
| Tabla 28: Total del caudal de consumo instantáneo.....  | 79 |

# **1. MEMORIA DESCRIPTIVA**

## 1.1. Objeto del proyecto

Este proyecto tiene como objetivo la adaptación de una instalación de energía solar térmica de baja temperatura para la producción de agua caliente sanitaria a un hotel situado en las afueras de la ciudad de Marbella, Málaga. Para llevarlo a cabo, se comenzará haciendo un estudio de la radiación solar recibida en dicha ubicación para poder establecer el dimensionamiento de la instalación con el fin de cubrir la demanda necesaria de agua caliente del hotel bajo el cumplimiento del reglamento técnico correspondiente.

## 1.2. Antecedentes

Es un hecho evidente el impacto que el consumo de combustibles fósiles tiene sobre el medio ambiente, además, conocer su implicación como energía no renovable, de las cuales sólo podemos contar con una cantidad finita que, con el tiempo, continúa disminuyendo a gran velocidad.

Esta dependencia ha llevado a la investigación en energías renovables a convertirse en un factor muy importante en el desarrollo actual de la sociedad, al tratarse de recursos limpios e inagotables que proporciona la naturaleza con un impacto prácticamente nulo.

Dentro del grupo de energías renovables el presente proyecto apuesta por la conocida como energía solar térmica basada en el aprovechamiento de la radiación solar para calentar un fluido que, por lo general, suele ser agua o aire. La capacidad de transformar la energía de los rayos solares en energía calorífica es, precisamente, el principio elemental en el que se basa esta fuente de energía renovable. Algunas ventajas, aparte de las ya mencionadas, asociadas de este tipo de energía son:

- El ahorro en las facturas del gas y electricidad destinadas a la producción de agua caliente sanitaria.
- Disminución de nuestra dependencia energética del exterior al garantizarnos un suministro de energía con total autonomía.
- Esta fuente de energía no está sujeta a fluctuaciones de mercado ni sus precios oscilan en torno al coste de la vida u otras circunstancias.
- Sus usuarios pueden acceder a ayudas por parte de las distintas administraciones.

Todo lo expuesto anteriormente unido a que España goza de los mayores niveles de irradiación de Europa, con una media de 2500 horas de sol aseguradas al año, y de que concretamente Andalucía presenta los mayores registros tratándose de una

Comunidad con un enorme potencial de aprovechamiento del recurso solar hacen unos convincentes puntos de partida para el proyecto.

### 1.3. Método de cálculo

Existen distintos procedimientos para el cálculo de la demanda de fracción solar. Estos métodos de diseño pueden estar basados en simulaciones horarias o en correlaciones entre números adimensionales que permiten trabajar en una base de tiempo mensual. En este proyecto se trabajará con el último grupo de métodos mencionado y dentro de ellos, concretamente, con el método f-Chart.

Su principio se basa en comprobar, mediante fórmulas analíticas, que para una determinada superficie de captación solar con un volumen de acumulador determinado se cumple la contribución solar mínima anual exigida en el Documento Básico HE Ahorro de Energía en su Sección HE 4, entendiéndose por contribución solar mínima anual como el porcentaje que representa la producción de energética anual sobre la demanda anual del edificio.

El método f-chart es un método bastante preciso cuando se dispone de datos en base mensual, ya que se desarrolló a partir de correlaciones obtenidas de un gran número de simulaciones y le proporciona una precisión bastante aceptable.

A continuación se expone el alcance de dicho método:

- Basado en datos diarios medios mensuales.
- Aplicable a sistemas de calefacción y producción de ACS, con una demanda de ACS inferior al 20% de la demanda de calefacción.
- Considera un sistema base de energía solar sin intercambiador de calor en el circuito de captación y con una acumulación de 75 l/m<sup>2</sup> de superficie de captación.

El rendimiento del sistema se define como la fracción de demanda cubierta por la energía solar (f) y es función de los siguientes parámetros adimensionales:

$$X = \frac{F_R \cdot U_L \cdot (T_{ref} - T_{am}) \cdot \Delta t \cdot A}{L}$$

Siendo X el factor de pérdidas, es decir, relación entre las pérdidas de energía de la superficie de captación para una temperatura de referencia de 100°C y la carga total de un mes.

$$Y = \frac{F_R \cdot (\tau\alpha)_m \cdot H \cdot N \cdot A}{L}$$

Siendo Y el factor de ganancia, es decir, relación entre la energía absorbida en la superficie de captación y la carga total de un mes.

$$(\tau\alpha)_m: (\tau\alpha) \text{ medio mensual del captador} \approx 0,96 \cdot (\tau\alpha)_n.$$

En la figura 1 se puede observar la relación entre los dos parámetros adimensionales descritos anteriormente y la fracción de demanda cubierta.

Como se ha mencionado anteriormente, el método f-Chart se basa en tres consideraciones, en el caso de que las condiciones de diseño difieran de estas será necesario aplicar a los parámetros adimensionales X e Y los criterios de corrección oportunos.

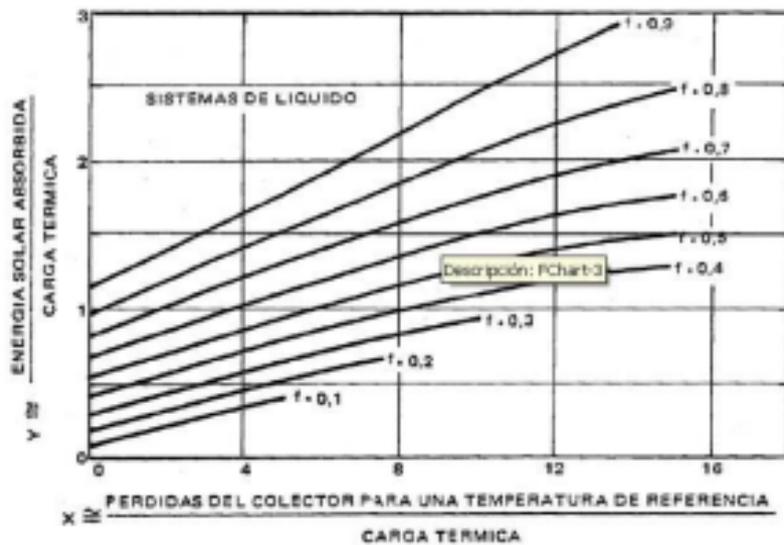


Figura 1: Correlación entre X e Y para cálculo de f mensual.

Los criterios de corrección son los siguientes:

- Corrección por caudal: siempre que el caudal de ensayo del captador difiera del caudal real es necesario corregir los parámetros  $F_R \cdot U_L$  y  $F_R \cdot (\tau\alpha)_n$  de la recta de rendimiento según la figura 2.
- Corrección por agrupación de captadores: definir el área y los parámetros de la recta de rendimiento de un único captador equivale a la agrupación de captadores. La expresión generalizada para N captadores en serie definiendo un captador solar de área  $N \cdot A$  será:

$$K = \frac{A \cdot F_R \cdot U_L}{M \cdot C_p} \qquad C_A = \frac{1 - (1 - K)^N}{N \cdot K}$$

Y su influencia en el rendimiento del número de captadores en serie se describe según se muestra en la figura 3.

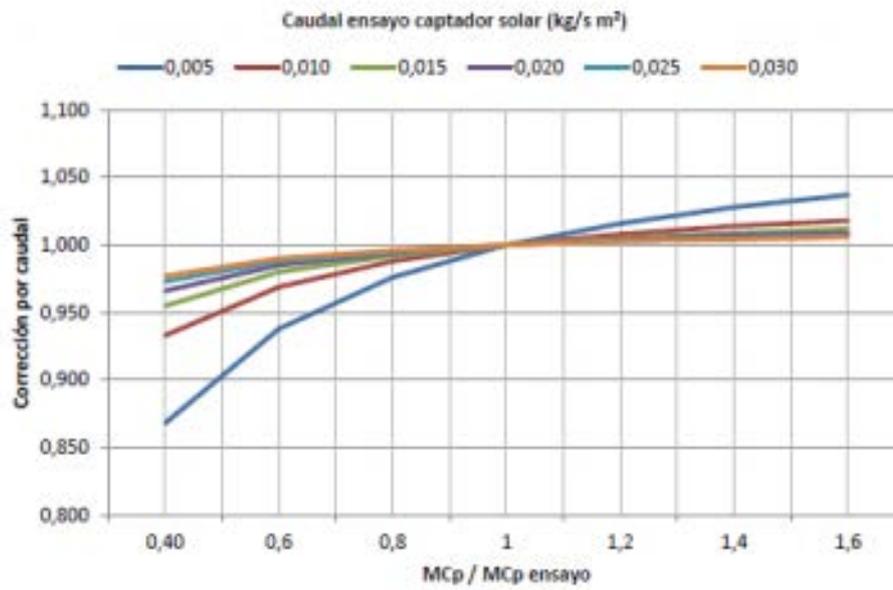


Figura 2: Curvas de corrección por caudal.

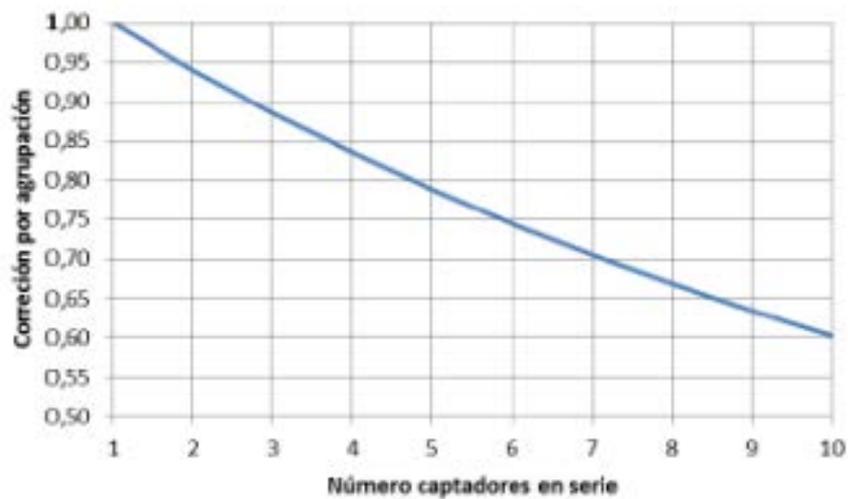


Figura 3: Curva de corrección por agrupación.

- Corrección por intercambiador de calor: se define un captador solar equivalente que incorpora al intercambiador de calor, corrigiendo los factores de pérdidas X y de ganancia Y, mediante la ecuación:

$$C_{int} = \frac{F_R'}{F_R} = \left[ 1 + \frac{A \cdot F_R U_L}{M \cdot C_{PP}} \cdot \left( \frac{M \cdot C_{PP}}{\varepsilon \cdot (M \cdot C_{PP})_{min}} - 1 \right) \right]^{-1}$$

Siendo:

- $F_R U_L$ : Factor de pérdidas del captador solar ( $W/m^2 \cdot K$ ).
  - $A$ : Área del captador solar ( $m^2$ ).
  - $M \cdot C_{PP}$ : Capacidad calorífica del fluido del circuito primario ( $W/K$ ).
  - $(M \cdot C_{PP})_{min}$ : Capacidad calorífica mínima de los fluidos del intercambiador ( $W/K$ ).
- Corrección por la capacidad de almacenamiento: el método se desarrolló para una capacidad de acumulación de  $75 \text{ l/m}^2$ , si la acumulación es diferente se corregirá el factor de pérdidas adimensional  $X$  mediante la ecuación:

$$\frac{X_C}{X} = \left(\frac{V}{75}\right)^{-0,25} \quad \text{si } 37,5 < v < 300$$

En la figura 4 se muestra la relación existente entre el factor de corrección y el volumen de almacenamiento del caso que nos ocupa.

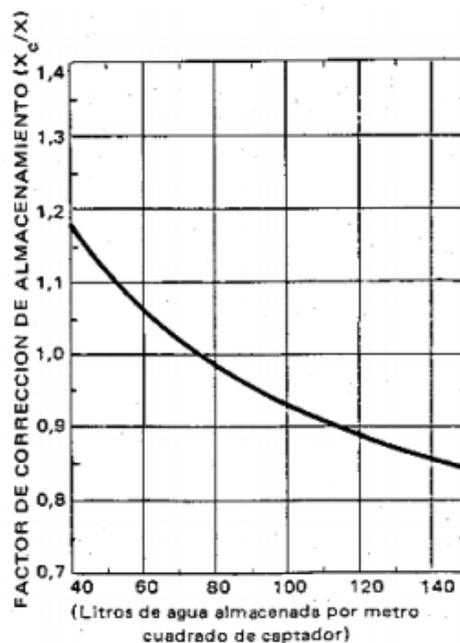


Figura 4: Curva de factor de corrección de almacenamiento.

- Corrección por consumo de ACS: el método se desarrolló para instalaciones donde la demanda de ACS es inferior al 20% de la demanda de calefacción. Si este porcentaje es superior, se corrige el factor de pérdidas adimensional  $X$  mediante la ecuación:

$$\frac{X}{X_C} = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{ac} + 3,86 \cdot T_{af} - 2,32 \cdot T_{am}}{100 - T_{am}}$$

- $T_{ac}$ : Temperatura de preparación del agua caliente ( $^{\circ}C$ )

- $T_{af}$ : Temperatura del agua fría (°C). Depende de la localidad y del mes.
- $T_{am}$ : Temperatura ambiente media exterior (°C). Depende de la localidad y del mes.

Por último, una vez aplicados todos los criterios de corrección necesarios se calcula la fracción de demanda cubierta en base anual como:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

Sabiendo que:

$$0 < Y < 3$$

$$0 < X < 18$$

## 1.4. Descripción del edificio

El edificio en cuestión se trata del hotel Villa Padierna Palace, un complejo hotelero de lujo con campo de golf y todo tipo de prestaciones situado en Benahavís, a escasos minutos de Marbella. Para la instalación me he centrado en uno de sus edificios, el edificio principal llamado Villa Padierna, puesto que fue el primero en ser construido y le dio nombre al hotel en sí.

Este edificio consta de 55 habitaciones, 2 de ellas suites de lujo, repartidas entre las cuatro plantas de las que dispone, además de una planta de garaje, la -2, el club de golf y la sala de máquinas que se encuentran en la planta -1 debido al desnivel del campo de golf y en la planta 0 hay un restaurante y la recepción. Como podemos comprobar es un edificio grande, llegando a medir 15 metros de altura.

Para situar la instalación es sencillo, puesto que alrededor del edificio se encuentra el campo de golf, y nos cederían una parte del campo de golf que va a ser cerrada y destinada para otras utilidades para llevar a cabo la instalación. Para que esta no se vea perjudicada por las sombras la he puesto a una distancia adecuada, dentro de los límites del campo de golf. En las figuras 5 y 6 se puede ver el hotel y sus alrededores.



Figura 5: Hotel Villa Padierna.



Figura 6: Hotel Villa Padierna.

En cuanto a su instalación actual, el hotel cuenta con una sala de máquina en la planta -1, en la cual hay:

- Una caldera *VISSMANN VITOPLEX 300/345* con una potencia útil de 345 kW, mostrada en la figura 7.



Figura 7: Caldera *VISSMANN VITOPLEX 300/345*.

- Una caldera *VISSMANN VITOPLEX 300/225* con una potencia útil de 225 KW.

Ambas calderas tienen un rendimiento del 95 % y son muy similares en cuanto a forma, lo que cambia es la potencia útil.

Las fichas técnicas de ambas calderas están recogidas en la figura 8.

## 1.5. Descripción de la instalación

### 1.5.1. Principio de funcionamiento

El principio en el que se fundamenta cualquier instalación solar térmica de baja temperatura es el de aprovechar la energía del Sol mediante un conjunto de captadores para transferirla después a un sistema de almacenamiento que abastecerá el consumo cuando sea necesario. Entendiendo por aprovechamiento de baja temperatura todos los sistemas de energía solar en los que la temperatura del fluido calentado no supera los 100°C.

Una instalación solar térmica se divide en cuatro subsistemas:

- Subsistema de captación.
- Subsistema de intercambio.
- Subsistema de acumulación.
- Subsistema de apoyo.

| <b>Definición del equipo</b>         |                             |                             |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Referencia                           | CA.01                       | CA.02                       |
| Marca / Modelo                       | VISSMANN VITOPLEX 300 / 345 | VISSMANN VITOPLEX 300 / 225 |
| Funcionamiento:                      | Baja Temperatura            | Baja Temperatura            |
| Tipo de Caldera                      | Hogar sobrepresionado       | Hogar sobrepresionado       |
| Material                             | Chapa acero                 | Chapa acero                 |
| <b>Prestaciones</b>                  |                             |                             |
| Potencia útil (kW)                   | 345                         | 225                         |
| Rendimiento (%)                      | 95%                         | 95%                         |
| Nº de etapas                         | Progresivo                  | Progresivo                  |
| ΔP Circuito de Agua (kPa)            | 20,00                       | 20,00                       |
| Presión de servicio máx. (bar)       | 6                           | 6                           |
| Temp. mín. entrada Agua (°C)         | 40                          | 40                          |
| Temp. máx. Salida Agua (°C)          | 120                         | 120                         |
| <b>Datos del Combustible líquido</b> |                             |                             |
| Combustible                          | Gasoleo                     | Gasoleo                     |
| Poder Calorífico Inferior (kJ/kg)    | 42.300                      | 42.300                      |
| Consumo (kg/h)                       | 30,91                       | 20,16                       |
| <b>Quemador asociado</b>             |                             |                             |
| Marca                                | MONARCH WEISHAUPT           | MONARCH WEISHAUPT           |
| Modelo                               | RL3-AZMD                    | RL3-AZMD                    |
| Consumo eléctrico (V/W)              | 380 III / 760               | 380 III / 760               |
| <b>Características físicas</b>       |                             |                             |
| Diámetro Salida Gases (mm)           | 250                         | 200                         |
| Fondo (mm)                           | 1880                        | 1680                        |
| Anchura (mm)                         | 1017                        | 942                         |
| Altura (mm)                          | 1665                        | 1511                        |
| Peso (kg)                            | 1161                        | 875                         |

Figura 8: Ficha técnica de las calderas.

El presente proyecto está dedicado al diseño de los subsistemas de captación, intercambio y acumulación. Se trata de la adaptación de una instalación para ACS a una ya existente en la que conservaremos el sistema anterior como subsistema de apoyo para los casos en los que la demanda mínima no pueda ser satisfecha por la nueva instalación solar térmica.

En la figura 9 se presenta un esquema de principios de la instalación en cuestión, en el que aparecen los tres primeros subsistemas que se acaban de mencionar (captación, intercambio y acumulación) que irán conectados al subsistema de apoyo ya existente.

El procedimiento en cualquier instalación solar comienza con la absorción de la energía térmica contenida en los rayos solares que pasará a calentar el fluido que circula por el interior del captador, el cual contará con un aislamiento térmico lo más eficaz posible para evitar que el fluido pierda su calor. En el caso de que el fluido de trabajo sea líquido, como es este caso, la opción más habitual para mantener la energía térmica es a través de un tanque de almacenamiento correctamente aislado.

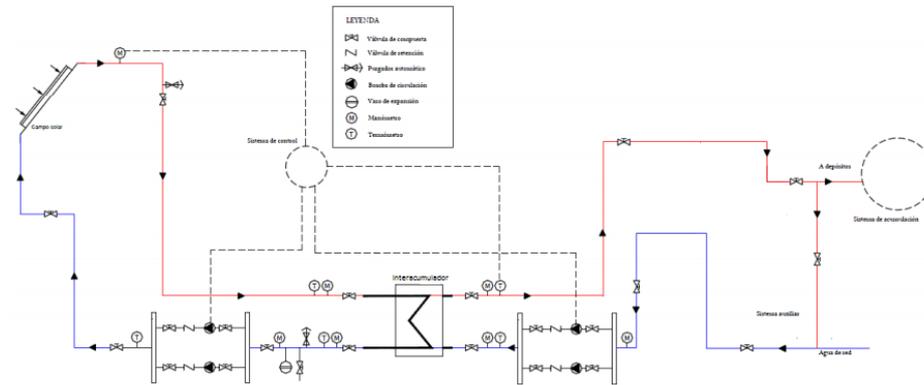


Figura 9: Esquema de la instalación.

Dado que los depósitos de almacenamiento pierden el calor con el tiempo, generalmente, se dimensionan para que la acumulación sea la equivalente a la demanda de un día ya que, si se diseñará para cubrir el 100% del consumo, sería necesario instalar unos sistemas de acumulación muy costosos e inviables económicamente. Es por esto que en la instalación se cuenta con un aporte de energía extraordinario que entrará automáticamente en funcionamiento en el caso de un déficit en la producción de ACS por parte del sistema solar. Este sistema de apoyo utilizará medios energéticos convencionales como son gasóleo, gas o electricidad.

### 1.5.2. Elementos principales de la instalación

#### 1) Captador solar plano

El captador solar plano es un intercambiador de calor que transforma la energía radiante procedente de la radiación solar en energía térmica que aumenta la temperatura de un fluido de trabajo contenido en su interior. Conjuga el efecto de cuerpo negro con el efecto invernadero para absorber la mayor parte de la radiación solar que llega a su superficie devolviendo la menos cantidad posible.

Sus principios básicos se pueden numerar de la siguiente forma:

1. El aporte de energía es “incontrolable”.
2. El aporte de energía y la demanda en la instalación están desfasados.
3. El rendimiento del captador depende fuertemente de su orientación e inclinación.
4. A menor temperatura de fluido a la entrada al captador mayor será su rendimiento.

5. Interesa la captación de energía solar a la mayor temperatura posible.
6. Entre el consumo de energía solar y de energía convencional siempre se dará preferencia a la primera.

Los captadores planos destinados a la producción de ACS están generalmente formados por una caja herméticamente cerrada cuyo lado superior es una superficie acristalada que permite el paso de la radiación solar pero que impide la pérdida de dicha ganancia térmica, el resto de la carcasa que envuelve al captador puede ser de metal, de algún plástico especial u otro material.

El interior contiene la placa absorbente, fabricada con materiales con elevada conductividad térmica como son el cobre, aluminio, etc ya que hablamos del lugar en el que se realiza la captación de la radiación solar propiamente dicha. Cuenta con un conjunto de tubos con dos tomas una por donde entra el fluido a calentar y otra por donde sale.

Para este proyecto se va a utilizar una superficie de captación de 55,85 m<sup>2</sup> y un total de 24 captadores instalados en el campo de golf, en una zona lo bastante alejada como para que no influyan las sombras y la captación sea óptima.

El campo de captación se montará en baterías de 6 captadores montados en serie entre sí. Se dispondrán de cuatro hileras agrupadas en paralelo dos a dos, porque aunque existe dimensión posible para colocarlos de cualquier manera, de esto modo quedará mejor visualmente, algo importante tratándose de un hotel y estando la instalación en un antiguo campo de golf que ahora se usa como jardín, de modo que tendremos posibles pérdidas por sombras entre unas hileras y otras. La disposición elegida se puede ver en la figura 10.

Con la finalidad de reducir lo máximo posible las pérdidas, se busca una orientación óptima que coincide con la orientación Sur geográfico y una inclinación de los captadores solares similar a la latitud del lugar ( $\pm 10^\circ$ ), punto en el que el aprovechamiento de la radiación solar es máximo. Basándose en esto, la disposición de los captadores en este proyecto tendrá una orientación Sur y una inclinación de 36,5° sobre la horizontal, coincidiendo con la latitud de la localidad en la que se encuentran.

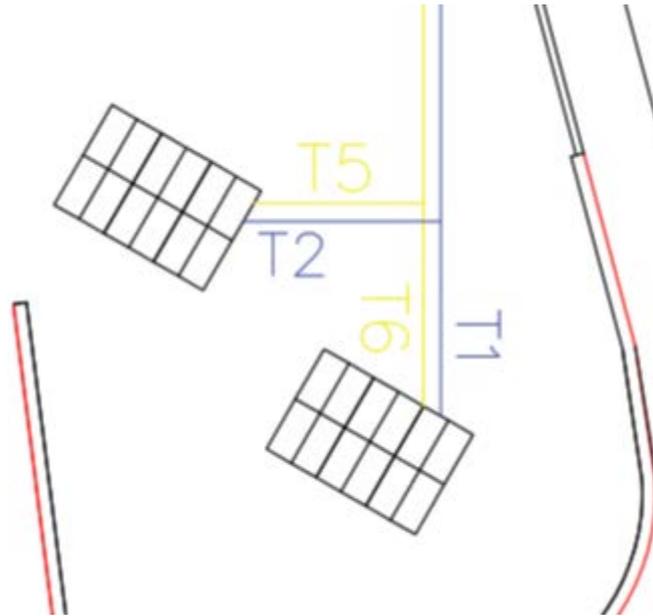


Figura 10: esquema de conexión de los captadores.

## 2) Intercambiador de calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir el calor entre dos medios, sea que estos estén separados por una barrera sólida o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

Dada la multitud de aplicaciones que estos dispositivos ofrecen, se puede realizar una clasificación dependiendo de su construcción:

- Intercambiadores de contacto directo: son aquellos dispositivos en los que los fluidos sufren una mezcla física completa.
- Intercambiadores de contacto indirecto: se utilizan dos fluidos de trabajo diferentes para cada circuito que nunca llegan a estar en contacto entre sí.

Para la elección del mismo se consideran aspectos como el tipo de fluido, la densidad, la viscosidad, el contenido en sólidos disueltos, el límite de temperaturas, la conductividad térmica, etc.

En este caso trabajaremos con un intercambiador de contacto indirecto de placas. De contacto indirecto porque el fluido que circula por el circuito primario, es decir, por el campo de captadores es agua glicolada para proteger a la instalación de heladas, mientras que por el circuito secundario circulará el agua destinada al consumo final.

El principio de funcionamiento de un intercambiador de placas consiste en transferir el calor del fluido del circuito primario obtenido a su paso por el campo de captadores al fluido del circuito secundario. Está compuesto por una pila de placas metálicas que se

mantiene unidas de modo que se forma una serie de pasillos interconectados por los que circula el fluido. Cada placa consta de cuatro orificios de forma que a través de dos de ellos circule el fluido frío o caliente.

### **3) Acumulador solar**

En nuestro caso el sistema de acumulación también es donde se produce el intercambio de calor. El circuito primario es el encargado de calentar en el interacumulador solar el agua de red para suministrarlo al sistema de preparación de A.C.S. del edificio, previo paso por el sistema de auxiliar.

Cuando el fluido caloportador que circula por los captadores ha visto incrementada su temperatura, pasa por el interacumulador solar, calentando el agua fría de la red. El agua calentada circulará hacia el interacumulador convencional y de ahí a la distribución.

La acumulación del agua calentada por los captadores solares permite almacenar energía durante los periodos en los que la captación solar es elevada (por ejemplo, durante las horas centrales del día) para su consumo cuando se producen picos de demanda (por ejemplo, al final de la tarde o a primera hora de la mañana).

Además, la acumulación de agua permite reducir la temperatura media de funcionamiento de los captadores solares. El rendimiento energético de un captador solar disminuye cuando aumenta su temperatura de funcionamiento. En consecuencia, un volumen de acumulación suficiente permitirá aumentar la producción energética anual de la instalación solar.

Se instala un interacumulador de 4000 litros para la instalación en disposición vertical, en la sala de máquinas, ubicada en la planta baja del edificio. (Véase Plano Sala de máquinas). El intercambio de calor se produce a través de un serpentín por el que circula el fluido caliente que viene de los captadores, la superficie de intercambio de dicho equipo es de 8,4 m<sup>2</sup> y con una potencia intercambiada de 49.07 kw.

Las características técnicas del equipo mencionado en el presente apartado vienen recogidas en el punto 1.6.2.

Por todo esto, se ha decidido instalar un depósito de 4000 litros puesto que esta instalación está diseñada para un volumen de acumulación de 3850 litros. El depósitos tienen forma cilíndrica y se colocan horizontalmente dentro de la sala de máquinas en la planta -1 de hotel.

#### **4) Sistema de apoyo**

El sistema de energía de apoyo o auxiliar es un elemento imprescindible en cualquier instalación solar si no se quieren sufrir restricciones energéticas en aquellos periodos en los que la radiación incidente no es la suficiente para cubrir la demanda y/o el consumo es superior a lo previsto. Para prevenirlo, se cuenta con un apoyo basado en energías “convencionales”. Dicho subsistema es recomendable que se encuentre vinculado a un sistema de control adecuado que gestione correctamente la instalación con el fin de reducir al máximo la entrada en funcionamiento de este subsistema auxiliar.

En el presente proyecto el hotel cuenta con un sistema de apoyo convencional basado en una caldera que ya estaba instalada anteriormente y que se utilizará, como ya he dicho, en los periodos en los que la radiación solar no sea la suficiente.

#### **5) Sistema hidráulico**

En cuanto a las tuberías que componen el circuito hidráulico es necesario hacer una distinción entre las destinadas al circuito primario y, por tanto, tuberías exteriores y las pertenecientes al circuito secundario e interiores.

Para ambos circuitos se empleará como material el cobre por sus buenas propiedades para trabajar con mezclas de agua y glicol. Es el más aconsejable para instalaciones de energía solar por ser resistente a la corrosión, económico, duradero y con una buena protección contra los contaminantes del suministro de agua doméstica.

El circuito primario es aquel que une el campo de captadores con el intercambiador y su posterior retorno. Por el circula como fluido caloportador de trabajo una mezcla con base de propilenglicol al 30%, se emplea este fluido de gran durabilidad por aumentar la capacidad de transferencia térmica en el circuito, evitando la formación de depósitos, y por la protección que ofrece frente a heladas.

En el circuito secundario circulará el agua potable procedente de la red de agua del hotel.

Para realizar el dimensionamiento de las tuberías se realizara una división de la red en tramos cuya finalidad es seleccionar el diámetro adecuado del conjunto de tramos de tuberías y conocer la velocidad y pérdida de carga en cada uno de ellos. Comprobando si cumplen las especificaciones recogidas en el pliego de condiciones técnicas del instituto para la diversificación y el ahorro de energía (IDAE).

Este método de cálculo se describirá y aplicará en el apartado 2.6 de la memoria de cálculo.

Con lo anterior es posible conocer la pérdida de carga total que ha de vencer el grupo de bombeo para cada circuito. Las bombas se colocarán en la tubería de retorno para el caso del circuito primario y en la entrada al intercambiador en el circuito secundario. Según la norma para instalaciones con superficie de captación superior a  $50 \text{ m}^2$ , se montarán dos bombas idénticas en paralelo tanto en el circuito primario como en el secundario, dejando una de ellas en reserva para garantizar la continuidad de funcionamiento en caso de avería.

Los grupos de bombeo contarán con válvulas de retención para evitar el sentido inverso de la corriente así como válvulas de corte con el fin de poder realizar reparación o mantenimiento.

Dentro del sistema hidráulico es necesario evitar la existencia de bolsas de aire en las conducciones de la instalación que provoquen que el caudal de circulación disminuya o incluso llegue a bloquearse. Para hacer esto posible se instalarán purgadores en los lugares altos del circuito ya que serán las zonas más propensas a la acumulación de aire.

El circuito primario que une el campo solar con el intercambiador es un circuito cerrado lo que hace que sea necesario un dispositivo de expansión cuya función sea la de absorber las variaciones de volumen de fluido caloportador que puedan producir al variar su temperatura. El exceso de volumen que se produce al aumentar la temperatura es almacenado en su totalidad en el depósito de expansión y se consigue que la presión se mantenga entre los límites establecidos. En cuanto a su diseño, ha sido calculado según la norma UNE 100155:2004 y al tratarse de un circuito cerrado se montará en la zona de aspiración de la bomba.

## **6) Sistema de regulación y control**

En toda instalación solar es necesario un sistema de regulación y control automático en el que, a través de equipos de control, se controlen los diferentes elementos de la instalación.

El control del circuito primario se efectúa a través de la bomba del circuito primario, cuyo funcionamiento viene determinado por la diferencia de temperatura en el fluido caloportador medida entre la salida de los captadores y la salida del acumulador.

Este diferencial se activará en el caso de que la diferencia sea superior a  $7^{\circ}\text{C}$  y la bomba comenzará a funcionar. Por el contrario, si la diferencia es inferior a  $2^{\circ}\text{C}$  el sistema de control detendrá el funcionamiento de la bomba.

Otra función del sistema de control se centra en el sistema de apoyo. Para ello se dispondrá de una sonda de temperatura a la salida del acumulador que registrará la

temperatura del agua sanitaria, haciendo que el sistema auxiliar entre o no en funcionamiento según la demanda requerida en ese momento.

Para este caso el sistema auxiliar se activará en el instante que exista caudal de consumo y la temperatura medida por la sonda sea inferior a la temperatura del agua de consumo más 5°C.

Los sensores de temperatura empleados estarán colocados en los distintos puntos del circuito y deberán estar aislados de las condiciones ambientales que los rodean.

## 1.6. Características técnicas de los equipos

### 1) Captadores solares

Los captadores solares planos que se van a instalar en este proyecto son el modelo *SOLARIA 2.4. AL* de la marca *FAGOR* cuyas características vienen en la siguiente figura:

- Superficie bruta: 2,40 m<sup>2</sup>.
- Dimensiones totales: 2,2 m x 1,09 m x 0,09 m.
- Cubierta: vidrio templado de 3,2 mm de espesor, con coeficiente de transparencia de 0,91.
- Carcasa: aluminio anodizado AL-6063 T5 (espesor=1,5 mm).
- Absorvedor: aletas de cobre (0,5mm) soldadas por ultrasonido a parrilla de cobre.
- Peso en vacío: 43 kg.
- Presión máxima de trabajo: 8 bar.
- Rendimiento óptico: 72,96 %.
- Coeficiente de pérdida k1: 2,51 W/(m<sup>2</sup>·K).
- Coeficiente de pérdida k2: 0,038 W/(m<sup>2</sup>·K<sup>3</sup>).

A continuación muestro una imagen del captador solar seleccionado en la figura 11.

### 2) Interacumulador

En el presente proyecto se ha seleccionado intercambiadores incorporados al acumulador (serpentín), puesto que los intercambiadores de placas externos tienen mayores pérdidas y se necesita añadir una segunda bomba de circulación aumentando el coste de la instalación.

El interacumulador utilizado en esta instalación corresponde al fabricante LAPESA y el modelo es *MASTER INOX* con serpentines de la serie *MXV-4000-SSB*.

- Capacidad ACS: 4000 l.
- Superficie conjunto de serpentines: 8,4 m<sup>2</sup>.
- Peso en el vacío: 665 Kg.
- Material: acero inoxidable AISI 316 L.
- Aislamiento térmico: PU rígido inyectado en molde (libre de CFC/HCFC, 0,025 W/m<sup>2</sup>·K)
- Potencia: 197 kW.
- Caudal primario: 5 m<sup>3</sup> /h.
- Temperatura máxima de trabajo depósito acumulador: 90 °C.
- Temperatura máxima conjunto de serpentines: 110 °C.
- Presión máxima conjunto de serpentines: 25 bar.
- Presión máxima de trabajo: 8 bar.

Se adjunta un esquema del interacumulador seleccionado en la figura 12.

### 3) Bomba del circuito

En nuestro caso, al haber incorporado un interacumulador, no es necesario el uso de bombas en el circuito secundario, disminuyendo así el coste de la instalación.

Para el circuito primario se ha seleccionado la bomba de la marca *GRUNDFOS* modelo *MAGNA 32-60N*. Las características principales de esta son:

- Altura requerida de la bomba: 60 dm.
- Líquido bombeado: Tyfocor L.S.
- Temperatura del líquido: 60 °C.
- Rango de temperaturas del líquido: 2...95 °C.
- Potencia: 10...85 W.
- Tensión nominal: 230-240 V.
- Presión de trabajo máxima: 10 bar.
- Diámetro de conexiones: G 2".
- Material: Acero inoxidable.

El gráfico de funcionamiento de la bomba se puede ver en la figura 13.



Figura 11: Captador seleccionado.

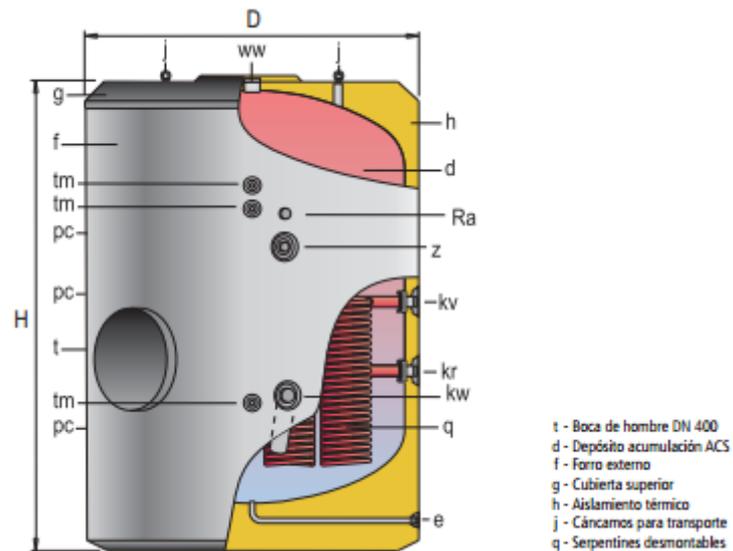


Figura 12: Interacumulador *MASTER INOX* con serpentines de la serie *MXV-4000-SSB*.

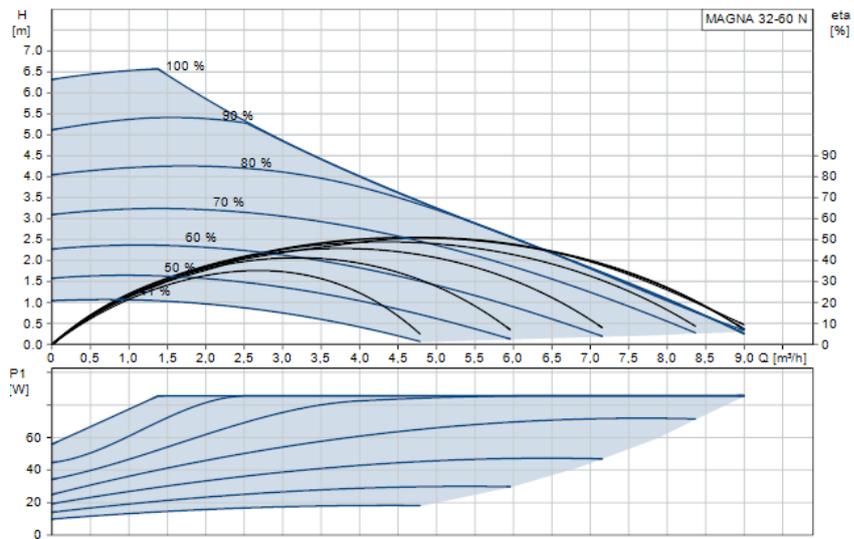


Figura 13: Gráfico de funcionamiento de la bomba seleccionada.

Y nuestra bomba en cuanto a aspecto y dimensiones en las figuras 14 y 15.



Figura 14: Bomba GRUNDFOS modelo MAGNA 32-60N.

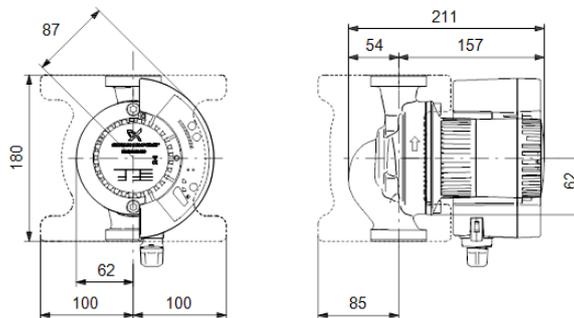


Figura 15: Dimensiones bomba GRUNDFOS modelo MAGNA 32-60N.

#### 4) Vaso de expansión

El vaso de expansión seleccionado es el 8 AMR Y tiene una capacidad de 8 litros, que es el volumen inmediatamente superior al calculado, este volumen supone un margen de seguridad con respecto al máximo esperable. Está diseñado para instalaciones solares.

A continuación se muestra la ficha técnica del vaso de expansión seleccionado:

- Capacidad: 8 litros.
- Presión máxima: 10 bar.
- Presión desc.: 1,5 bar.
- Diametro (mm): 200 mm.
- Altura (mm): 350 mm.
- Cone. Agua: 1".

En la figura 16 se muestra la ficha técnica de nuestro vaso de expansión, y en la figura 17 el vaso de expansión en sí:

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DIMENSIONES**

|   | Código    | Artículo     | Capacidad lts. | Presión máx. trabajo | Presión precarga bar | D mm | H mm  | Ht mm | Conexion de agua Ø DIN 259 |
|---|-----------|--------------|----------------|----------------------|----------------------|------|-------|-------|----------------------------|
|  | AC 04 001 | 5 AMR-E      | 5              | 10                   | 1,5                  | 200  | 265   | -     | 3/4"                       |
|   | AC 04 008 | 5 AMR-E      | 5              | 10                   | 1,5                  | 200  | 265   | -     | 1"                         |
|   | AC 04 005 | 24 AMR-E     | 24             | 8                    | 1,5                  | 350  | 410   | -     | 3/4"                       |
|   | AA 15 205 | 24 AMR-E     | 24             | 8                    | 1,5                  | 350  | 410   | -     | 1"                         |
|  | AC 04 016 | 8 AMR        | 8              | 10                   | 1,5                  | 200  | 350   | -     | 1"                         |
|   | AC 04 017 | 15 AMR       | 15             | 10                   | 1,5                  | 270  | 320   | -     | 1"                         |
|   | AC 04 018 | 20 AMR       | 20             | 10                   | 1,5                  | 270  | 425   | -     | 1"                         |
|   | AC 04 020 | 50 AMR       | 50             | 10                   | 1,5                  | 360  | 620   | -     | 1"                         |
|  | AC 04 021 | 50 AMR-P     | 50             | 10                   | 1,5                  | 360  | 760   | -     | 1"                         |
|   | AC 04 025 | 80 AMR-P     | 80             | 10                   | 1,5                  | 450  | 750   | -     | 1"                         |
|   | AC 04 063 | 100 AMR-P    | 100            | 10                   | 1,5                  | 450  | 870   | -     | 1"                         |
|  | AC 04 022 | 150 AMR-B90  | 150            | 8                    | 1,5                  | 485  | 1.080 | -     | 1-1/4"                     |
|   | AC 04 023 | 200 AMR-B90  | 200            | 8                    | 1,5                  | 550  | 1.075 | -     | 1-1/4"                     |
|   | AC 04 024 | 300 AMR-B160 | 300            | 8                    | 1,5                  | 650  | 1.178 | -     | 1-1/4"                     |
|  | AA 15 227 | 100 AMR      | 100            | 16                   | 1,5                  | 485  | 805   | -     | 1-1/2"                     |
|   | AC 04 029 | 150 AMR      | 150            | 10                   | 1,5                  | 485  | 1.155 | -     | 1-1/2"                     |
|   | AC 04 030 | 220 AMR      | 220            | 10                   | 1,5                  | 485  | 1.405 | -     | 1-1/2"                     |
|   | AC 04 033 | 350 AMR      | 350            | 10                   | 1,5                  | 485  | 1.980 | -     | 1-1/2"                     |
|   | AC 04 031 | 500 AMR      | 500            | 10                   | 1,5                  | 600  | 2.085 | -     | 1-1/2"                     |
|   | AC 04 032 | 700 AMR      | 700            | 10                   | 1,5                  | 700  | 2.085 | -     | 1-1/2"                     |
|   | AC 04 027 | 1000 AMR     | 1000           | 10                   | 1,5                  | 850  | 2.225 | -     | 2"                         |
|   | AC 04 028 | 1400 AMR     | 1400           | 10                   | 1,5                  | 1000 | 2.320 | -     | 2"                         |

Figura 16: Características del vaso de expansión seleccionado.



Figura 17: Vaso de expansión.

## 1.7. Normativa

En este apartado se describirán brevemente las normas de obligado cumplimiento en el diseño de cualquier instalación solar térmica, centrándonos concretamente en las que afectan a nuestro caso.

### 1) Código Técnico de la Edificación (CTE) HE-4

- Contribución solar mínima

La localidad de Marbella se sitúa en la zona climática IV en el mapa de estimación de la cantidad de energía media diaria por unidad de superficie (irradiación) en España, por tanto, según la norma se debe cumplir una fracción solar mínima del 70 %.

Para este caso y tras los cálculos pertinentes se obtiene una fracción solar del 77,34 %, por lo que queda satisfecha la norma

- Contribución solar máxima

El dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100 %.

En esta instalación como puede observarse en la figura 17 no se supera el 100 % ningún mes:

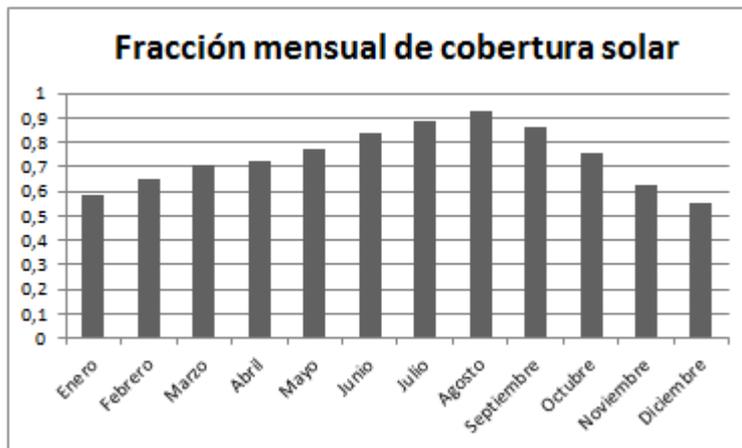


Figura 18: Fracción mensual de cobertura solar.

- Límite de pérdidas:

Para el caso general las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida serán del 10%, las pérdidas máximas por sombras un 10 % y las pérdidas totales permitidas serán de un 15 %.

En la figura 19 se muestra el gráfico que recoge el porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. Para este caso el ángulo de inclinación es de 45° respecto a la horizontal y el ángulo de orientación de 0°, ya que el campo de captadores tiene la mejor orientación posible

Para mayor claridad se ha situado con un punto rojo este caso, puede apreciarse que el aprovechamiento de la energía respecto al máximo es del 95%.

En cuanto al método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes para este edificio no existen tales pérdidas, dado que esto se ha tenido en cuenta y se ha situado la instalación lo suficientemente lejos del edificio principal.

## 2) Normas UNE

- UNE 100155

Recoge el método de cálculo utilizado para dimensionar el vaso de expansión.

- UNE 94002

Describe el cálculo de la demanda de energía térmica para instalaciones solares térmicas para producción de ACS tabulando los valores a emplear de consumo de agua caliente, temperatura de referencia y de agua fría de cada provincia.

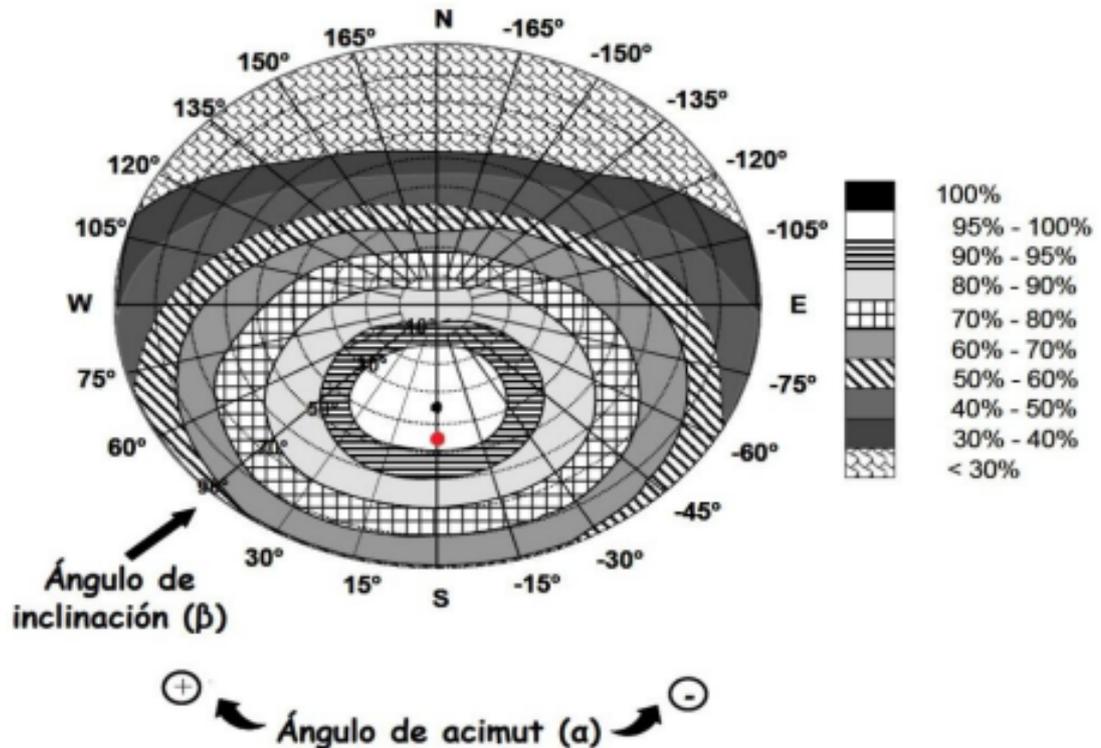


Figura 19: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

- UNE 94003

De esta norma se obtienen los datos climáticos para el dimensionado de esta instalación solar, concretamente nos proporciona valores de irradiación global sobre superficie horizontal y de temperatura media ambiente en cada provincia.

### 3) Reglamento de instalaciones térmicas en la edificación (RITE)

- Preparación de agua caliente para usos sanitarios (IT 1.1.4.3.1)

Impone las condiciones de funcionamiento para la prevención de la legionelosis en la producción de ACS, dado que las instalaciones de producción con acumulación y recirculación son las instalaciones pertenecientes al grupo de mayor riesgo, mediante lo siguiente:

- En la preparación de agua caliente para usos sanitarios se cumplirá con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis.

- Además, los sistemas, equipos y componentes de la instalación térmica, que de acuerdo con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis deban ser sometidos a tratamientos de choque térmico se diseñarán para poder efectuar y soportar los mismos, teniendo en cuenta que los materiales empleados en el circuito resistirán la acción agresiva del agua sometida a tratamiento de choque químico.
- Por último, no se permite la preparación de agua caliente para usos sanitarios mediante la mezcla directa de agua fría con condensado o vapor procedente de calderas.

- Aislamiento térmico (IT 1.2.4.2.1)

Para evitar pérdidas de energía, todas las tuberías, accesorios y equipos de la instalación deben estar aislados térmicamente. Esta norma recoge el cálculo del espesor mínimo de aislamiento según un proceso simplificado.

En el presente proyecto se seleccionan los espesores de aislamiento cumpliendo dicha instrucción como se detallará en el apartado correspondiente.

- Medición (IT 1.3.4.4.5)

En esta instrucción queda detallada la instrumentación de medida de la que deben disponer todas las instalaciones térmicas para la supervisión de todas las magnitudes y valores de los parámetros que intervienen de forma fundamental en el funcionamiento de la misma.

Los aparatos de medida se situarán en lugares visibles y fácilmente accesibles para su lectura y mantenimiento.

El equipamiento mínimo de aparatos de medición será el siguiente:

- En colectores de impulsión y retorno de un fluido portador: un termómetro.
- En el vaso de expansión: un manómetro.
- En el circuito secundario de tuberías de un fluido portador: un termómetro en el retorno, uno por cada circuito.
- En las bombas: un manómetro para lectura de la diferencia de presión entre aspiración y descarga, uno por cada bomba.
- En el intercambiador de calor: termómetros y manómetros a la entrada y salida de los fluidos.

- Sistema de distribución de agua (IT 2.3.3)

Establece las bases en las que la empresa instaladora realizará y documentará el procedimiento de ajuste y equilibrado de los sistemas de distribución de agua.

A lo largo del proyecto aparecen explicadas las especificaciones contenidas en esta instrucción, pudiendo así afirmar el cumplimiento de la misma.

- Control automático (IT 2.3.4)

Establece el equipamiento mínimo del control de las instalaciones centralizadas de preparación de agua caliente sanitaria, referido tanto al control de la temperatura de la instalación como al control para los usuarios.

También queda recogido que cuando la instalación disponga de un sistema de control, mando y gestión o telegestión basado en la tecnología de la información, como es el caso de este proyecto, su mantenimiento y la actualización de las versiones de los programas deberá ser realizado por personal cualificado o por el mismo suministrador de los programas.

## 1.8. Bibliografía

- 1) Código técnico de la edificación (CTE), sección HE 4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.” 2013.
- 2) IDAE, “Guía técnica de agua caliente sanitaria central” 2010.
- 3) IDAE “Reglamento de instalaciones térmicas en edificios” 2013.
- 4) Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Industria (RITE) 2013.
- 5) AEONOR, Norma UNE 94003 “Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones térmicas” 2007
- 6) AEONOR, Norma UNE 100-155 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” 2004.
- 7) AEONOR, Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria” 2005..
- 8) APUNTES, asignatura Energía Solar a Baja Temperatura, 2014.

### Referencias web:

- 9) <http://www.aeornor.es>
- 10) <http://www.idae.es>
- 11) <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es>
- 12) <http://www.lapesa.es>
- 13) <http://www.apabcn.cat>
- 14) <http://www.aemet.es>
- 15) <http://product-selection.grundfos.com>
- 16) <file:///C:/Users/Usuario%20UCA/Downloads>
- 17) <http://www2.fagor.com>
- 18) <http://www.ibaiondo.es>
- 19) <http://www.sonnenkraft.es>

## **2. MEMORIA DE CÁLCULO**

## 2.1. Introducción

La memoria de cálculo es uno de los documentos básicos y tiene como misión en este proyecto justificar las soluciones adoptadas, las alternativas estudiadas y las razones que han llevado a la solución elegida. La instalación se diseña para un hotel con una ocupación del 100% durante los 12 meses del año.

## 2.2. Datos de partida

### 2.2.1. Ubicación

El hotel se ubica en la ciudad de Marbella, cerca del mar, en una parcela con suficiente dimensión como para albergar la construcción de varios edificios, así como un campo de golf y piscinas, que conforman este complejo hotelero de lujo. En vista de lo grande que es este complejo hotelero, vamos a incorporar la instalación de energía solar solamente en la zona del hotel Villa Padierna, que es el edificio principal, junto al cual hay un enorme campo de golf donde ubicaremos nuestra instalación. El hotel se encuentra en la latitud 36,5°.

### 2.2.2. Parámetros climáticos

Los datos para caracterizar el clima de la zona se obtendrá a partir de la norma UNE: 94003:2007 editada por AENOR. Esta norma proporciona los valores climáticos de referencia de irradiación global diaria media mensual horizontal y de temperatura ambiente.

#### 2.2.2.1. Irradiación solar

Debido a que nuestra instalación está ubicada en Marbella, se muestra a continuación en la tabla 1 los valores de Irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal

A continuación calculo la radiación solar sobre una superficie inclinada a partir de los valores de radiación Solar sobre superficie horizontal. Los cálculos desarrollados se realizan a modo de ilustración para un mes en concreto, por ejemplo, Febrero.

| MES        | Irradiación global media mensual sobre superficie horizontal (MJ/m <sup>2</sup> ·día) |
|------------|---|
| Enero      | 10  |
| Febrero    | 12,96   |
| Marzo      | 17,46   |
| Abril      | 22,14   |
| Mayo       | 25,2  |
| Junio      | 28,33   |
| Julio      | 28,7  |
| Agosto     | 25,38   |
| Septiembre | 20,74   |
| Octubre    | 14,65   |
| Noviembre  | 10,51   |
| Diciembre  | 8,5   |

Tabla 1: Irradiación global media mensual sobre superficie horizontal en Marbella (UNE 94003:2007).

La secuencia a seguir es la siguiente:

- Descomposición de la radiación solar horizontal global media diaria mensual en sus componentes directa (D) y difusa (d).
- Transformar la radiación directa y difusa en superficie horizontal a superficie inclinada.

En primer lugar calculo el ángulo horario del ocaso solar  $\omega_s$  recogido en la tabla 2. A través de la aproximación propuesta por Cooper obtengo la declinación solar como:

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

Y sabiendo que la latitud en este caso es 36,5° podemos obtener el ángulo horario para cada mes como:

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$$

| MES        | DÍA DEL AÑO | DECLINACIÓN(°) |
|------------|-------------|----------------|
| Enero      | 17          | -20,84         |
| Febrero    | 45          | -13,32         |
| Marzo      | 74          | -2,4           |
| Abril      | 105         | +9,46          |
| Mayo       | 135         | +18,78         |
| Junio      | 161         | +23,04         |
| Julio      | 199         | +21,11         |
| Agosto     | 230         | +13,28         |
| Septiembre | 261         | +1,97          |
| Octubre    | 292         | -9,84          |
| Noviembre  | 322         | -19,02         |
| Diciembre  | 347         | -23,12         |

Tabla 2: Declinación solar a través de la aproximación de Cooper para cada día característico de cada mes.

Siendo:

- $\phi$ : Latitud.
- $\delta$ : Declinación solar.

Para el mes de Febrero:  $\omega_s = 79,91^\circ$

Ahora, voy a calcular el índice de claridad o transparencia atmosférica, de la siguiente forma:

$$k_t = \frac{H_{g0}}{H_0}$$

Siendo:

- $H_0$ : Irradiación Extraterrestre Horizontal.
- $H_{g0}$ : Irradiación Global Horizontal.

A continuación, en la tabla 3, se detalla la Irradiación Extraterrestre Horizontal para una latitud de  $36,5^\circ$ :

| MES        | Irradiación Extraterrestre Horizontal (MJ/m <sup>2</sup> ·día) |
|------------|--|
| Enero      | 22,21  |
| Febrero    | 26,9   |
| Marzo      | 27,43  |
| Abril      | 28,12  |
| Mayo       | 29,73  |
| Junio      | 30,22  |
| Julio      | 31,62  |
| Agosto     | 30,56  |
| Septiembre | 29,16  |
| Octubre    | 26,47  |
| Noviembre  | 22,45  |
| Diciembre  | 20,16  |

Tabla 3: Irradiación Extraterrestre horizontal para latitud 36,5° en Marbella.

Una vez tenemos todos estos datos podemos calcular el índice de claridad de cada mes, presentado en la tabla 4:

| MES        | Índice de Claridad $k_t$ |
|------------|--------------------------|
| Enero      | 0,4503                   |
| Febrero    | 0,4818                   |
| Marzo      | 0,6365                   |
| Abril      | 0,7873                   |
| Mayo       | 0,8476                   |
| Junio      | 0,9375                   |
| Julio      | 0,9076                   |
| Agosto     | 0,8305                   |
| Septiembre | 0,7125                   |
| Octubre    | 0,5535                   |
| Noviembre  | 0,4682                   |
| Diciembre  | 0,4157                   |

Tabla 4: Índice de Claridad  $k_t$

Para obtener la relación entre la Irradiación solar media difusa diaria y la Irradiación solar global media mensual sobre superficie horizontal uso la correlación correspondiente de Ersb, Klein y Duffie (1982):

$$\frac{I_d}{I_h} = 1,39 - 4,03 \cdot k_t + 5,53 \cdot k_t^2 - 3,11 \cdot k_t^3$$

Una vez llegados a este punto paso al desarrollo para transformar la radiación directa y difusa en superficie horizontal a superficie inclinada. Para ello aplico un factor de conversión R para una superficie orientada al Sur y con ángulo acimutal 0º, de modo que la radiación media diaria mensual sobre una superficie inclinada vendrá dada por:

$$I = R \cdot I_h$$

El valor de R puede hallarse considerando por separado las componentes directa, difusa y reflejada de la radiación. Suponiendo que la componente difusa se distribuya uniformemente en la atmósfera, R puede expresarse por:

$$R = \left(1 - \frac{I_d}{I_h}\right) \cdot R_b + \frac{I_d}{I_h} \cdot \left(\frac{1 + \cos S}{2}\right) + \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos S}{2}\right)$$

- $I_d$ : Irradiación solar media difusa diaria.
- $R_b$ : Relación entre media mensual de radiación directa sobre una superficie inclinada y sobre una horizontal para cada mes.
- $S$ : Inclinación del panel sobre la horizontal.
- $\rho$ : Reflectancia del suelo.

La reflectancia del suelo usada para este proyecto se estima en 0,1. El parámetro  $R_b$  para superficies orientadas al Sur tiene el valor de:

$$R_b = \frac{\cos(\Phi - S) \cdot \cos\delta \cdot \text{sen}\omega_s'' + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_s'' \cdot \text{sen}(\Phi - S) \cdot \text{sen}\delta}{\cos\Phi \cdot \cos\delta \cdot \text{sen}\omega_s + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_s'' \cdot \text{sen}\Phi \cdot \text{sen}\delta}$$

- $\Phi$ : Latitud.
- $S$ : Inclinación del panel sobre la horizontal.
- $\delta$ : Declinación solar.
- $\omega_s$ : Ángulo del ocaso solar.
- $\omega_s''$ : Ángulo del ocaso solar en una superficie inclinada.

$$\omega_s'' = \text{MIN}[\omega_s, \arccos(-\tan(\Phi - S) \cdot \tan(\delta))]$$

Para el mes de Febrero tenemos que  $R_b = 1,287$

Con todo esto ya tenemos preparado el sistema para obtener la radiación en una superficie inclinada 45º respecto a la horizontal. En la tabla 5 se muestra, mediante un código EES, esta radiación particularizada para cada mes:

| MES        | Radiación solar en superficie inclinada (MJ/m <sup>2</sup> ·día) |
|------------|--|
| Enero      | 15,47  |
| Febrero    | 16,88  |
| Marzo      | 17,23  |
| Abril      | 17,96  |
| Mayo       | 18,77  |
| Junio      | 19,84  |
| Julio      | 20,92  |
| Agosto     | 21,13  |
| Septiembre | 20,45  |
| Octubre    | 18,94  |
| Noviembre  | 16,58  |
| Diciembre  | 15,16  |

Tabla 5: Radiación Solar media mensual en superficie inclinada para cada mes.

#### 2.2.2.2. Temperatura ambiente

La temperatura (°C) ambiente media mensual de Sevilla, recogida en la tabla 6, la obtengo de la norma UNE 94003:2007 a la altura de referencia (12 m):

| MES            | Ene. | Febr. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Agost. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|----------------|------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| T <sup>a</sup> | 12,2 | 12,6  | 14,1 | 15,8 | 18,6 | 21,6 | 24,2 | 24,7   | 22,7 | 19,1 | 15,3 | 13   |

Tabla 6: Temperatura ambiente media mensual en Marbella.

## 2.3. Estimación de la demanda

### 2.3.1. Cálculo del consumo

El consumo unitario diario medio de agua caliente sanitaria asociado a una temperatura de referencia de 60° se debe elegir de acuerdo a la tabla que se

encuentra en el CTE (HE4) y en la cual, para nuestro caso, un hotel encontramos como podemos ver en la tabla 7.

| Criterio de Demanda | Litros ACS/unidad día a 60° |
|---------------------|-----------------------------|
| Hotel *****         | 70 por cama                 |

Tabla 7: Consumo unitario diario medio CTE (HE4).

El cálculo del número de personas en el hotel se hace en base al Código Técnico de la Edificación donde se relaciona el número de personas con el número de dormitorios:

|                   |     |   |   |   |   |   |   |                   |
|-------------------|-----|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| Nº de dormitorios | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Más de 7          |
| Nº de personas    | 1,5 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | Nº de dormitorios |

Tabla 8: Valores mínimos entre dormitorios y personas según el CTE (HE4).

Para este proyecto se ha tomado el número de personas igual al número de dormitorios en el hotel, puesto que hay más de siete habitaciones. Hay un total de 53 dormitorios y 2 suits, que consideraré como un dormitorio más, por lo tanto hay 55 dormitorios distribuidos a lo largo del edificio. A modo de ejemplo se realizará en este apartado los cálculos asociados al mes de Enero, luego:

$$Q_{ACS} = 70 \cdot 55 = 3850 \frac{l}{día} \cdot 31días = 108500 l \text{ en enero}$$

### 2.3.2. Cálculo de la demanda

La demanda de energía térmica se define como:

$$D_{ACS} = Q_{ACS}(T_{ref}) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ref} - T_{AF}) \cdot N$$

Dónde:

- $\rho$ : Densidad del agua ( $kg/l$ ).
- $c_p$ : Calor específico del agua ( $kJ/(kg \cdot K)$ ).
- $T_{ref}$ : Temperatura de referencia del agua caliente.
- $T_{AF}$ : Temperatura diaria media mensual de agua fría en Sevilla.
- $N$ : Número de días del mes en cuestión.

En la tabla 9 podemos ver la temperatura media mensual de agua fría en Marbella, según la norma UNE 94002.

| MES   | En. | Feb. | Mar. | Ab. | May. | Jun. | Jul. | Ag. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|-------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| $T^a$ | 12  | 12   | 13   | 14  | 16   | 18   | 20   | 20  | 19   | 16   | 14   | 12   |

Tabla 9: Temperatura diaria media mensual de agua fría en Málaga para altura de referencia UNE 94002.

Para el mes de Enero tenemos:

$$L_{ACS} = 108500 \cdot 1 \cdot 4,187 \cdot (60 - 12) \cdot 31 = 21805,896 \text{ MJ/mes}$$

A continuación en la tabla 10 se pueden observar los valores de la demanda de energía térmica y en la figura 20 la tendencia de esta para cada mes.

| MES        | $L_{ACS}$ |
|------------|-----------|
| Enero      | 21805,9   |
| Febrero    | 21394,4   |
| Marzo      | 22687,2   |
| Abril      | 21375,1   |
| Mayo       | 20688,3   |
| Junio      | 18750,2   |
| Julio      | 17889,9   |
| Agosto     | 17071     |
| Septiembre | 18639,5   |
| Octubre    | 19779,18  |
| Noviembre  | 22337,4   |
| Diciembre  | 23486,8   |

Tabla 10: Demanda de energía térmica en MJ para cada mes.

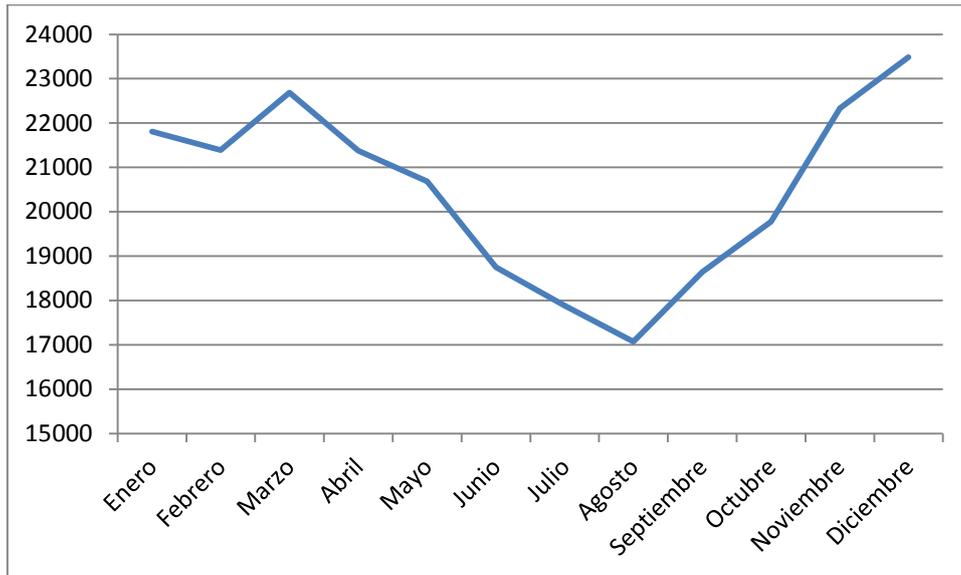


Figura 20: Demanda de energía térmica en MJ para cada mes.

## 2.4. Sistema de captación

En este apartado se calcula de forma detallada el parámetro que define el comportamiento del sistema de captación, la fracción de demanda cubierta “f”.

En el CTE HE4 se define la fracción de la demanda cubierta mínima particularizada para cada localización. En la figura 21 se puede observar como para Marbella se define como zona climática IV.

Debido a esto, se exige un factor de cobertura de la demanda del 70%, es decir, la cobertura solar mínima debe ser del 70 % de la demanda, suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural u otros.

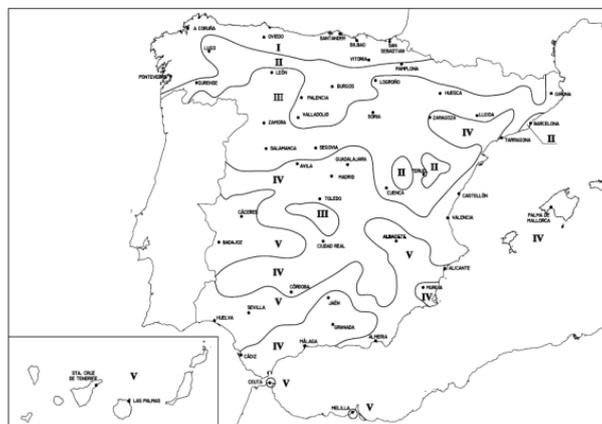


Figura 21: Distribución de zonas climáticas.

### 2.4.1. Elección de la superficie de captación

Para la determinación de la superficie de captadores solares necesaria para alcanzar la fracción solar requerida se procederá a realizar un cálculo energético a partir del método F-Chart descrito en la memoria descriptiva.

El método consiste en calcular la fracción solar proporcionada por la instalación solar a partir de dos parámetros X e Y mediante la siguiente ecuación que relaciona ambas variables:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X + 0,0018 \cdot X^2 - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

Se trata de un proceso iterativo en el cual se deben realizar algunas hipótesis iniciales y establecer los datos de partida:

- Los captadores están orientados al Sur con acimut cero.
- Se elegirá una inclinación de 45° con respecto a la horizontal, ya que el consumo de agua caliente se considera constante a lo largo del año, sin variaciones entre verano e invierno. En el caso de existir esas variaciones el CTE HE4 recomienda una inclinación igual a la latitud geográfica +10° si la demanda es preferente en invierno y -10° si es preferente en verano.
- La curva de rendimiento energético del captador solar elegido es la siguiente:

$$\eta = 0,95 - 3,914 \cdot \frac{T_e - T_{amb}}{I}$$

Es decir, el captador tiene dos coeficientes característicos, que son:

$$F_{R(\tau\omega)_n} = 0,95 \quad F_R U_L = 3,914 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

#### 2.4.1.1. Cálculo de los parámetros X e Y

El parámetro X puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$X = S_C \cdot F_R U_L \cdot (T_{ref} - T_{amb}) \cdot \frac{\Delta t}{L} \cdot K_1 \cdot K_2$$

La ecuación representa la relación entre la energía perdida por el captador y la demanda energética mensual donde:

- $S_C$ : Superficie total de captación.
- $T_{ref}$ : Temperatura de referencia (100°)
- $T_{amb}$ : Temperatura media mensual del ambiente.

- $\Delta t$ : Número de segundos en un mes.
- $L$ : Demanda energética anual.
- $F'_R U_L$ : Es el factor del captador modificado, de ahí que lo denote como primo, por el factor de corrección captador-intercambiador  $\frac{F'_R}{F_R}$ .
- $K_1$ : Factor de corrección por almacenamiento.
- $K_2$ : Factor de corrección por demanda.

El parámetro Y se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$Y = S_C \cdot F_{R(\tau\alpha)CORREGIDO} \cdot H_i \cdot \frac{N}{L}$$

- $S_C$ : Superficie total de captación.
- $F_{R(\tau\alpha)CORREGIDO}$ : Factor adimensional, definido por la siguiente expresión:

$$F_{R(\tau\alpha)CORREGIDO} = F_{R(\tau\alpha)_n} \cdot \left[ \frac{\alpha\tau}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \frac{F'_R}{F_R}$$

Donde:

- $F_{R(\tau\alpha)_n}$ : Factor de eficiencia óptica del captador (0,833).
- $\left[ \frac{\alpha\tau}{(\tau\alpha)_n} \right]$ : Modificador del ángulo de incidencia, aproximadamente 0,96 para captadores de cubierta de vidrio.
- $\frac{F'_R}{F_R}$ : Factor de corrección conjunto captador-intercambiador.

#### 2.4.1.2. Correcciones

Si se usa un caudal por captadores distinto al de diseño hay que corregirlo. En este caso uso un caudal igual al de diseño por lo que no tengo que calcularlo.

La corrección por configuración de captadores sí que hay que tenerla en cuenta, puesto que tenemos por cada grupo 6 captadores en serie, así que de la figura 3:

$$C_A = 0,75$$

Si existe un intercambiador de calor en el circuito primario, se corrigen los grupos adimensionales X e Y a través del factor  $F_R$  (Recta de Rendimiento), en función de la efectividad del intercambiador y de las capacidades caloríficas del fluido como podemos ver en la figura 22.

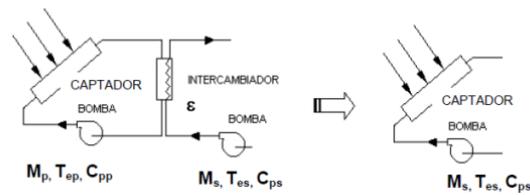


Figura 22: Corrección captador-intercambiador de calor.

Este factor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\frac{F'_R}{F_R} = \left[ 1 + \left( S_C \cdot \frac{F_R U_L}{M_P C_{PP}} \right) \cdot \left( \frac{M_P C_{PP}}{\varepsilon \cdot S_C \frac{M C_{Pmin}}{S_C}} - 1 \right) \right]^{-1}$$

Siendo:

- $F_R U_L$ : Factor de pérdida del captador ( $W/(m^2 \cdot k)$ )
- $S_C$ : Área del captador solar ( $m^2$ )
- $M_P C_{PP}$ : Capacidad calorífica del fluido primario ( $W/K$ )
- $M C_{Pmin}$ : Capacidad calorífica en el intercambiador ( $W/K$ )

En este proyecto  $M C_{Pmin}$  corresponde al fluido del secundario, ya que el caudal del circuito secundario se ha tomado el 80% del caudal del circuito del primario.

A continuación procedo a calcular la corrección por almacenamiento  $K_1$ , para ello me apoyo en la figura 23, en la cual se relaciona los litros por metros cuadrados de captación con el factor de corrección de almacenamiento. En este caso el volumen de acumulación  $V$  son aproximadamente 4000 litros.

$$K_1 = \left( \frac{V}{75 \cdot S_C} \right)^{-0,25}$$

Por último falta determinar el factor corrector por demanda  $K_2$ , el cual se puede determinar a con la siguiente relación:

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{REFac} + 3,86 \cdot T_{REF} - 2,32 \cdot T_{amb}}{100 - T_{amb}}$$

A partir de esto podemos obtener los resultados esbozados en la tabla 11.

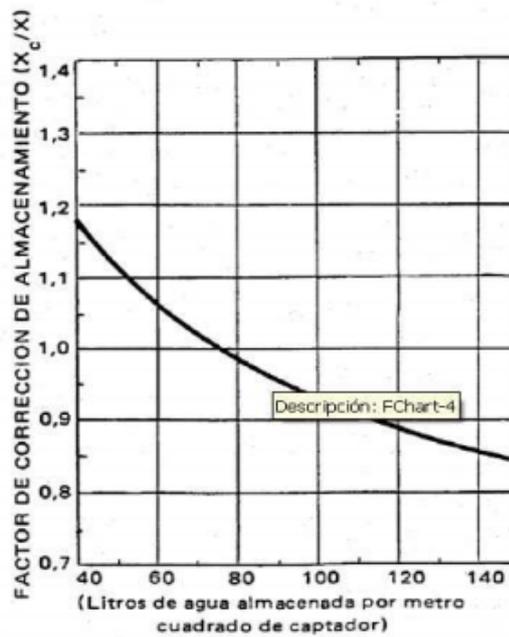


Figura 23: Factor de corrección por almacenamiento.

| MES        | $K_2$ | $K_1$ | $C_{int}$ |
|------------|-------|-------|-----------|
| Enero      | 1,142 | 1,01  | 0,95      |
| Febrero    | 1,107 | 1,01  | 0,95      |
| Marzo      | 1,156 | 1,01  | 0,95      |
| Abril      | 1,183 | 1,01  | 0,95      |
| Mayo       | 1,228 | 1,01  | 0,95      |
| Junio      | 1,344 | 1,01  | 0,95      |
| Julio      | 1,389 | 1,01  | 0,95      |
| Agosto     | 1,391 | 1,01  | 0,95      |
| Septiembre | 1,362 | 1,01  | 0,95      |
| Octubre    | 1,301 | 1,01  | 0,95      |
| Noviembre  | 1,151 | 1,01  | 0,95      |
| Diciembre  | 1,116 | 1,01  | 0,95      |

Tabla 11: Factor corrector por demanda, por volumen de acumulación e intercambiador.

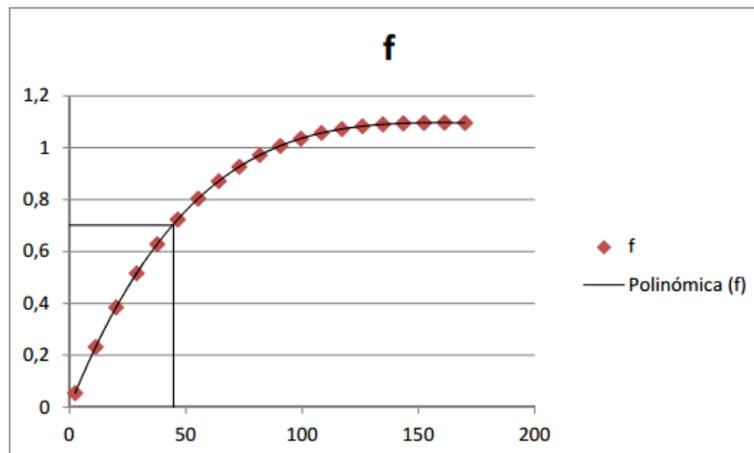
Para determinar la superficie de captación total necesaria para conseguir a través del sistema de captación solar el 70% de la demanda energética anual, realizo una simulación, representada en la figura 24, donde se relaciona la fracción de cobertura solar media anual para diferentes áreas totales de captación, sabiendo que  $f$  es:

$$f = \frac{Q_{solar}}{Q_{consumida}}$$

Siendo:

- $Q_{solar}$ : potencia térmica aprovechada de la radiación solar en un año.
- $Q_{consumida}$ : potencia térmica consumida en un año.

A continuación, se calcula la demanda cubierta para distintas áreas, lo cual, queda recogido en la figura 24.



**Figura 24: Fracción media anual cubierta de la demanda anual en función de la superficie total de captación.**

Siendo razonable, desde el punto de vista energético lo idóneo sería cubrir cuanto más demanda mejor, pero la realidad es que el cliente tendería a situarse en la zona cercana al 70%. Por eso, acercándome más a la realidad y teniendo presente que nuestro captador elegido tiene una superficie de captación  $2,17 \text{ m}^2$ , he elegido una superficie total de:

$$\text{Area total de captación} = 52,08 \text{ m}^2 = 24 \text{ captadores}$$

Como podemos comprobar, dicha superficie es un poco mayor que la estimada en nuestra gráfica, pero más vale que sobre sin pasarnos a que falte.

Una vez determinado todo los valores de los factores de corrección, puedo cuantificar los valores de X e Y para cada mes. A continuación, en la tabla 12, se muestra un resumen de los cálculos anteriores sabiendo ya el área de superficie total de captación que hemos descrito en la cuestión anterior:

| MES        | Demanda<br>(MJ) | $T_{amb}$<br>(°C) | $T_{red}$<br>(°C) | $H_i$<br>(MJ/día·m <sup>2</sup> ) | N  | $\Delta t$<br>(s) | X    | Y    |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|----|-------------------|------|------|
| Enero      | 23986           | 12,2              | 12                | 15,47                             | 31 | 2,68E+06          | 2,32 | 0,87 |
| Febrero    | 21665           | 12,6              | 12                | 16,88                             | 28 | 2,42E+06          | 2,14 | 0,96 |
| Marzo      | 23487           | 14,1              | 13                | 17,23                             | 31 | 2,68E+06          | 2,44 | 1,08 |
| Abril      | 22246           | 15,8              | 14                | 17,96                             | 30 | 2,59E+06          | 2,49 | 1,12 |
| Mayo       | 21988           | 18,6              | 16                | 18,77                             | 31 | 2,68E+06          | 2,62 | 1,23 |
| Junio      | 20311           | 21,6              | 18                | 19,84                             | 30 | 2,59E+06          | 2,68 | 1,36 |
| Julio      | 19989           | 24,2              | 20                | 20,92                             | 31 | 2,68E+06          | 2,75 | 1,48 |
| Agosto     | 19989           | 24,7              | 20                | 21,13                             | 31 | 2,68E+06          | 2,75 | 1,56 |
| Septiembre | 19828           | 22,7              | 19                | 20,45                             | 30 | 2,59E+06          | 2,71 | 1,42 |
| Octubre    | 21988           | 19,1              | 16                | 18,94                             | 31 | 2,68E+06          | 2,64 | 1,19 |
| Noviembre  | 22246           | 15,3              | 14                | 16,58                             | 30 | 2,59E+06          | 2,41 | 0,95 |
| Diciembre  | 23986           | 13                | 12                | 15,16                             | 31 | 2,68E+06          | 2,33 | 0,82 |

Tabla 12: Valores mensuales de los parámetro X e Y.

Cabe destacar que los parámetros X e Y están acotados de la siguiente forma:

$$0 < Y < 3 \quad 0 < X < 18$$

Como podemos ver se cumple en ambos parámetros la acotación

- 2.4.1.3. Determinación de la fracción energética mensual f, aportada por el sistema de captación solar.

Una vez determinado los valores mensuales de los parámetros X e Y, se puede calcular la fracción solar mensual a partir de la expresión anteriormente citada:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

Cabe recordar que estos cálculos se han realizado con 24 captadores FAGOR SOLARIA

2.4. AL SE con las siguientes características:

- Área del captador: 2,17 m<sup>2</sup>.
- Rendimiento óptico: 0,7296.
- Coeficiente de pérdida de calor: 2,51 W/m<sup>2</sup>·K<sup>2</sup>.

En la figura 25 podemos ver la relación que hay entre X e Y para calcular f.

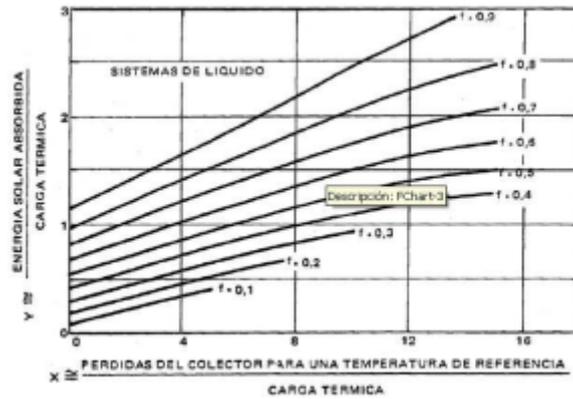


Figura 25: Correlación entre X e Y para cálculo de f mensual.

Dichos valores de la fracción solar mensual se muestran a continuación en la figura 26:

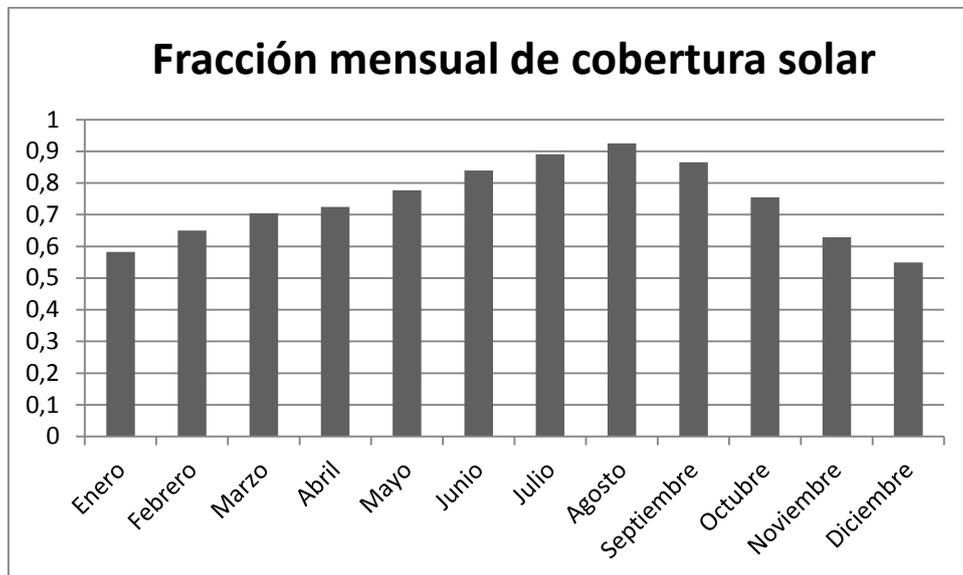


Figura 26: Fracción mensual de la cobertura solar.

2.4.1.4. Determinación de la fracción solar anual F.

Una vez conocido los valores mensuales f, puede calcularse la producción energética útil mensual de la instalación solar  $EU_{mes}$  multiplicando la demanda energética mensual por la fracción de cobertura solar mensual.

$$EU_{mes} = L \cdot f$$

La suma de los valores de  $EU_{mes}$  será la producción energética anual del sistema de captación solar.

El cociente entre la producción energética anual de la instalación solar y la demanda energética anual será la fracción solar anual F. Todo esto se recoge en la tabla 13:

| MES          | L(MJ)         | F      | $EU_{mes}$ (MJ)  | $E_{apoyo}$ (MJ) |
|--------------|---------------|--------|------------------|------------------|
| Enero        | 23986         | 0,5828 | 13979,041        | 10006,959        |
| Febrero      | 21665         | 0,6502 | 14086,583        | 7578,417         |
| Marzo        | 23487         | 0,7048 | 16553,638        | 6933,362         |
| Abril        | 22246         | 0,7247 | 16121,676        | 6124,324         |
| Mayo         | 21988         | 0,7771 | 17086,875        | 4901,125         |
| Junio        | 20311         | 0,8391 | 17042,96         | 3268,04          |
| Julio        | 19989         | 0,8908 | 17806,201        | 2182,799         |
| Agosto       | 19989         | 0,9255 | 18499,819        | 1489,181         |
| Septiembre   | 19828         | 0,8658 | 17167,082        | 2660,918         |
| Octubre      | 21988         | 0,7547 | 16594,344        | 5393,656         |
| Noviembre    | 22246         | 0,6287 | 13986,06         | 8259,94          |
| Diciembre    | 23986         | 0,5492 | 13173,111        | 10812,89         |
| <b>Total</b> | <b>261709</b> |        | <b>192097,39</b> |                  |

Tabla 13: Energía útil mensual mediante factor f.

La fracción solar anual resultante F sería, en este caso:

$$F = \frac{192097,39}{261709} \cdot 100 = 73,4\%$$

A continuación, en la figura 27, se representa la producción energética solar y energía de apoyo necesaria.

Con este resultado podemos concluir que tomando los datos e hipótesis de partida, se cumple las exigencias de la fracción de la demanda cubierta mínima exigida Los resultados finales obtenidos son:

- Superficie total de captación: **52,08 m<sup>2</sup>** (24 captadores)
- Capacidad del depósito de acumulación: **4000 L**
- Demanda energética anual: **261709 MJ**
- Producción energética solar anual: **192097,39 MJ**
- Fracción solar anual: **73,4 %**

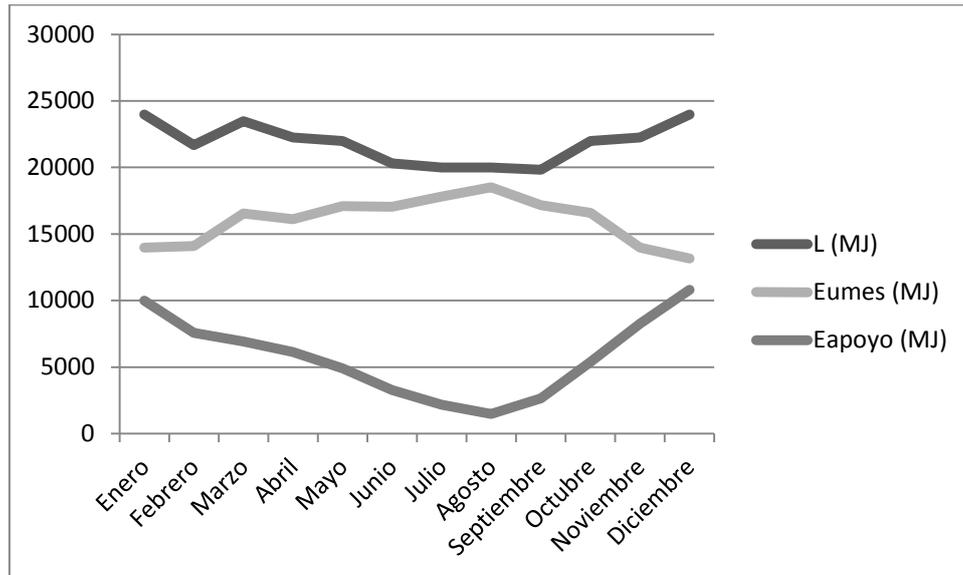


Figura 27: Producción energética solar y energía de apoyo necesaria.

#### 2.4.2. Disposición de los captadores

El campo de captación estará compuesto por 24 captadores distribuidos en baterías de 12 unidades. Estos estarán conectados de forma que cada batería de 12 captadores contará con 2 grupos conectados en serie y cada uno de ellos, a su vez, con 6 captadores en paralelo entre sí.

Aunque existe dimensión posible para colocarlos de cualquier manera, de este modo quedará mejor visualmente, algo importante tratándose de un hotel y estando la instalación en un antiguo campo de golf que ahora se usa como jardín, de modo que tendremos posibles pérdidas por sombras entre unas hileras y otras.

A vista de las características del edificio, se decide ubicar los captadores en una zona del campo de golf que hay junto al edificio, que ya no se utiliza como campo de golf, por lo tanto tendremos espacio de sobra para nuestra instalación. La inclinación será de 45° con respecto a la horizontal y un ángulo acimutal de 0° debido a la estructura y orientación del campo de golf. Podemos ver la disposición de los captadores en la figura 28:

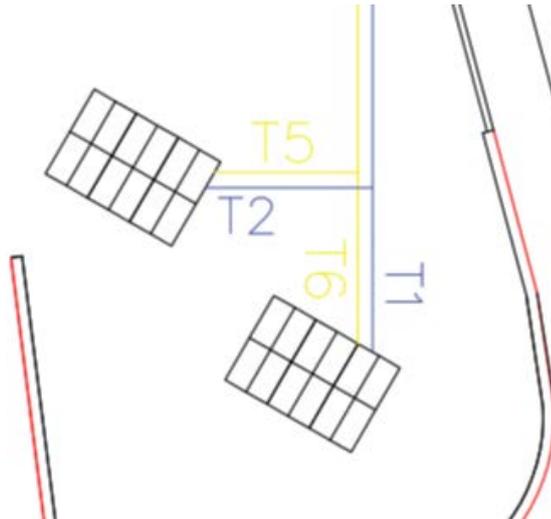


Figura 28: Disposición de los captadores.

2.4.2.1. Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación

En este apartado se van a determinar los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo a las pérdidas máximas permitidas. A modo de aclaración, se detallan las características de orientación de nuestros captadores en la tabla 14:

| Orientación | Acimut ( $\alpha$ ) | Inclinación ( $\beta$ ) |
|-------------|---------------------|-------------------------|
| Sur         | 0°                  | 45°                     |

Tabla 14: Orientación e inclinación de nuestra instalación.

Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, para superposición el 20% y para integración arquitectónica del 40 %, como podemos ver en la figura 29:

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

Figura 29: Límites para las pérdidas expuestos por el constante.

Para determinar las pérdidas producidas por la orientación e inclinación establecida por los captadores, se sigue el método indicado en el CTE HE4. Como bien indica este código, hay que comprobar que el ángulo de inclinación seleccionado para los captadores está dentro de los límites máximos y mínimos permitidos:

Según el código técnico:

- Conocido el ángulo acimut de nuestra instalación y las pérdidas máximas que se pueden dar para inclinación y orientación en el caso general, sabemos que la zona de aprovechamiento energético que nos aporta la leyenda mostrada en la figura, para nuestro caso será la zona comprendida entre un 90%-95%. Obtenemos los límites máximos y mínimos de inclinación, para una latitud de  $41^\circ$ , que es la que viene por defecto en la figura 30.

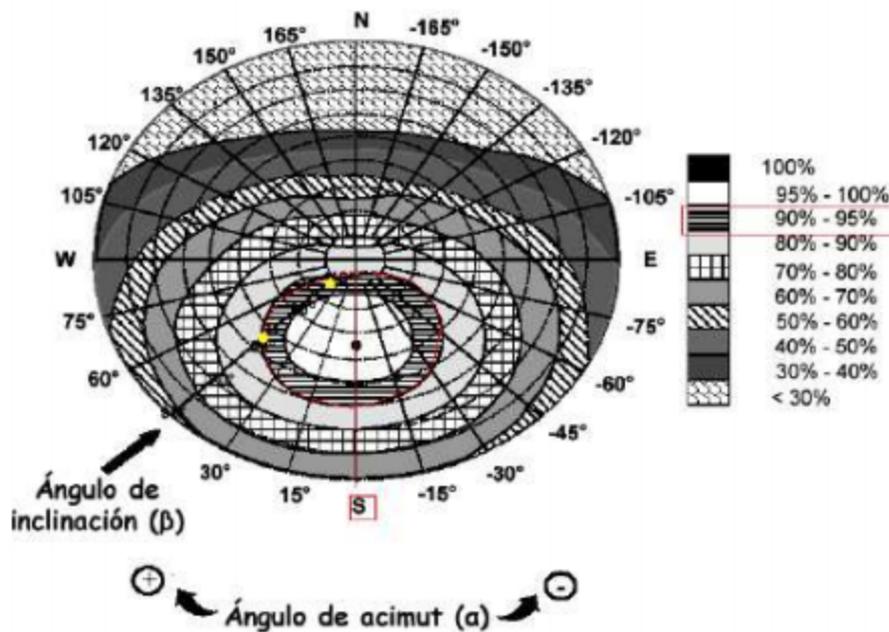


Figura 30: Cálculo de los límites de inclinación.

De esta imagen, trazando una curva que siga la trayectoria de la zona de aprovechamiento del 90% hasta la línea de grado de inclinación, se obtienen los siguientes valores aproximados:

- Inclinación máxima  $\approx 55^\circ$
- Inclinación mínima  $\approx 8^\circ$

Estos valores son válidos para una latitud de  $\phi = 41^\circ$ , luego para una latitud como la de nuestro caso  $\phi = 36,5^\circ$ , debemos corregir los valores de inclinación máxima e inclinación mínima.

Para obtener los límites de inclinación correspondientes a la latitud del lugar de la instalación se emplean las siguientes relaciones tal y como menciona el CTE:

$$\text{Inclinación máxima} = IM(\varphi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}) = 51^\circ$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{Im}(\varphi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud}) = 5^\circ$$

Cabe destacar que, el valor que hemos tomado para la inclinación de los captadores está dentro del rango de inclinación permitido.

Las pérdidas por este concepto, como bien indica el CTE (HE4), se calcula en función del:

- Ángulo de inclinación:  $\beta$
- Ángulo de acimut:  $\alpha$
- Ángulo de inclinación óptima:  $\beta_{opt}$

Como ya he mencionado antes, el ángulo de inclinación de los captadores es de  $45^\circ$ . Según el CTE en ángulo de inclinación óptimo sería la latitud del lugar, aunque la que hemos tomado cumple perfectamente con las especificaciones. Para cuantificar las pérdidas asociadas a elegir una inclinación distinta de la óptima, el CTE sugiere la siguiente expresión:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot \left[ 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right] = 0,867 \%$$

Esta expresión es válida para  $\beta \in (15^\circ, 90^\circ)$ .

En cuanto a las pérdidas producidas por las sombras que puedan proyectar elementos en los alrededores de la instalación, para este caso, los colectores están situados en el campo de golf de tal forma que no existan obstáculos en los alrededores que puedan proyectar dichas sombras.

#### 2.4.2.2. Distancia mínima entre filas de captadores y elementos cercanos.

Debemos tener en cuenta las posibles pérdidas que se puedan ocasionar por las sombras creadas entre distintas filas de captadores o por objetos cercanos a ellas. El Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía, proporciona en su Pliego de Condiciones una expresión para determinar la distancia mínima que se debe respetar.

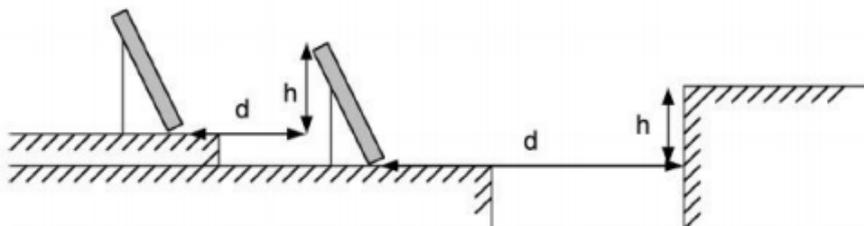


Figura 31: Esquema de la distancia mínima entre elementos.

La distancia  $d$ , mostrada en la figura 31 debe ser superior para evitar las posibles sombras. Dicha distancia viene determinada por la siguiente expresión:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg}(61^\circ - \text{latitud})} \quad \text{con} \quad h = L \cdot \operatorname{sen}(\alpha)$$

Siendo  $h$ , la altura del elemento que pueda ocasionar sombras, o la diferencia entre una fila de captadores y la siguiente. En nuestra instalación tenemos 2 filas de captadores consecutivas, que pueden ocasionar problemas de sombras. Para ello se calcula la distancia mínima a la que tienen que estar separados.

Conocida la altura de los captadores desde una perpendicular a la horizontal, siendo esta de 1,5 metros y la latitud del emplazamiento.

$$d_{\text{min entre filas}} = \frac{1,5}{\operatorname{tg}(61^\circ - 36,5)} = 3,9 \text{ m}$$

Además, para garantizar que la sombra del edificio no cubre la instalación, hay que tener en cuenta la altura de este, siendo esta, tendrá que estar colocada a una distancia:

$$d_{\text{min edificio}} = \frac{15}{\operatorname{tg}(61^\circ - 36,5)} = 31,45 \text{ m.}$$

Estas distancias se tienen en cuenta a la hora de diseñar la instalación y la separación para la red hidráulica.

## 2.5. Cálculo del sistema de acumulación solar.

Atendiendo a los resultados obtenidos en cuanto al sistema de captación, se ha determinado un área de captación igual a 52,08 m<sup>2</sup>.

Dado que la demanda diaria que requiere nuestra instalación es de 3850 litros/día, se elegirá un volumen de depósito de acumulación de 4000 litros. El modelo elegido es el Master Vitro SBB del fabricante Lapesa. Se sobredimensiona el volumen debido a que en la época invernal sobre todo tendremos mayor demanda de agua caliente, con lo cual un aumento de la producción será recomendable. El CTE impone que para la producción de ACS se debe cumplir la siguiente restricción:

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

En nuestro caso tenemos un volumen de 4000 litros para un área de 56 m<sup>2</sup>, luego la relación se cumple, siendo esta:

$$\frac{V}{A} = 76,8 \text{ l/m}^2$$

A continuación se muestran otros números índice que pueden resultar de interés:

- La relación entre el volumen de acumulación y el consumo diario de nuestra instalación:

$$\frac{V}{Q} = 1,039 \text{ s}$$

Esta, es aconsejable que se encuentre entre 0,8 y 1,2, y nuestro caso cumple.

- La relación entre el consumo y la superficie de captación:

$$\frac{Q}{A} = 73,92 \text{ l/(m}^2 \cdot \text{día)}$$

En cuanto al sistema de intercambio incorporado en el acumulador, el CTE expone que la relación entre la superficie de intercambio útil y la superficie de captación no será inferior a 0,15. A partir de 3000 litros, es donde encontramos serpentines con un área que cumple esta restricción.

Nuestro acumulador incorpora un serpentín de 8,4 m<sup>2</sup> de superficie de intercambio, y la relación queda:

$$\frac{S_{\text{útil}}}{S_{\text{captación}}} \geq 0,15$$

En nuestro caso el valor está justo en el límite, 0,15, cumpliendo con la normativa.

## 2.6. Sistema hidráulico

El conexionado de las baterías de captadores se realizará de forma que el circuito hidráulico este lo más equilibrado posible. De este modo, y como aconsejan el CTE y el manual del captador, la conexión será de retorno invertido. Cabe recordar que el conexionado de los captadores serán en paralelo y el de las baterías entre si también en paralelo.

### 2.6.1. Fluido de trabajo del circuito primario

De acuerdo al CTE, tenemos que atender a la temperatura mínima que pueda darse en el lugar donde va a desarrollarse nuestra instalación, ya que si algún componente cae por debajo de los 0°, deberá estar protegido contra heladas.

Para poner de manifiesta la necesidad de usar una protección contra heladas en nuestra instalación, he extraído de la Agencia Estatal de Meteorología las temperaturas máximas y mínimas en Marbella como podemos ver en la tabla 15:

| Temperatura Máxima | Temperatura Mínima |
|--------------------|--------------------|
| 35,6°C             | 2,4°C              |

**Tabla 15: Temperaturas máximas y mínimas en Marbella.**

Según el CTE, la instalación deberá estar protegida en 5 °C por debajo de la mínima histórica registrada, con objeto de no producir daños en el circuito primario de captadores por heladas, luego si la temperatura mínima histórica registrada en Marbella es 2,4 °C, el sistema deberá protegerse para una temperatura mínima de -2,6 °C.

Los anticongelantes usados en este tipo de instalaciones son etilenglicol y propilenglicol. Nosotros usamos para este proyecto el *Tyfocon LS* como fluido anticongelante suministrado por VISSMANN, el cual cumple toda la normativa y es el más recomendado.

Con este fluido caloportador se establecen los siguientes límites:

- Resistencia contra heladas: -28 °C
- Contenido en agua: 55-58 %
- Punto de ebullición: 102-105 °C

A continuación voy a determinar las propiedades de la mezcla para particularizar los cálculos al nuevo fluido. Estas propiedades se determinarán a la temperatura usual de trabajo del fluido y se obtienen de las gráficas situadas en el anexo I, proporcionadas por VISSMANN.

- Calor específico (60 °C):  $C_e = 3,762 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$
- Densidad (60 °C):  $\rho = 1,002 \frac{g}{cm^3}$
- Viscosidad cinemática (60 °C):  $viscosidad = 1,8 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

Una vez establecidas las propiedades del fluido caloportador, voy a proceder a calcular el caudal másico de fluido con anticongelante a través de un simple balance de energía para que presente la misma capacidad calorífica, donde el caudal másico de agua es el de diseño del captador,  $0,04 \frac{l}{s \cdot m^2} = 0,04 \frac{kg}{s \cdot m^2}$ :

$$m_{agua} \cdot C_{pagua} = m_{fluido} \cdot C_{pfluido}$$

$$m_{fluido} = \frac{m_{agua} \cdot C_{pagua}}{C_{pfluido}} = \frac{0,04 \cdot 1}{0,9} = 0,044 \frac{kg}{s \cdot m^2}$$

Si nuestro captador tiene una superficie de absorción de 2,17 m<sup>2</sup>, entonces:

$$m_{fluido} = 2,17 \cdot 0,044 = 0,0955 \frac{kg}{s} = 343,8 \frac{kg}{h}$$

Como nuestra instalación tiene 24 captadores con 2 en serie, el caudal másico total será:

$$m_{fluidototal} = m_{fluido} \cdot 24 \cdot \frac{1}{2} = 1,146 \frac{kg}{s} \cong 1,2 \frac{l}{s}$$

En el apartado del sistema hidráulico del CTE, podemos encontrar que cita que el valor del caudal del fluido caloportador estará comprendido entre 1,2 l/s y 1 kg/s por cada 100 m<sup>2</sup> de red de captadores. En nuestra instalación no se cumple pero podemos aceptar este valor por ser muy cercano al límite.

## 2.6.2. Pérdidas de carga en el Circuito Primario

Para dimensionar la bomba de impulsión del circuito primario habrá que calcular las pérdidas asociadas a los captadores, el intercambiador del interacumulador y las pérdidas de carga en tuberías usando como fluido caloportador *TYFOCOR L.S.*

### 2.6.2.1. Pérdidas en captadores

Para realizar el cálculo de la pérdida de carga en los captadores, el fabricante seleccionado ofrece la siguiente información:

- Caudal óptimo de circulación por el captador: 40 l/m<sup>2</sup> · h (empleando agua como fluido de trabajo). En nuestro caso usaremos el caudal de ensayo del captador, ya que es el que hemos empleado para el cálculo en el método F-Chart.
- Caída de presión (mm ca):  $3,611 \cdot q_i^2 + 2,329 \cdot q_i$  con  $q_i$  en l/min.

Conocemos el caudal volumétrico que circula por un captador:

$$Q_{fluido} = 0,044 \cdot 2,17 = 0,09548 \frac{l}{s} = 5,7288 \frac{l}{min}$$

Introduciendo este caudal en la expresión dada por el fabricante obtenemos la pérdida de carga en un captador.

$$\Delta P_{captador} = 131,85 \text{ mm. c. a.}$$

Como en la instalación los captadores están conectados en paralelo, la pérdida de carga que se produce en una batería de captadores es la que se produce en un solo captador. A su vez las baterías se encuentran conectadas en paralelo con el resto, luego ese es el valor que tendremos en cuenta para considerar la pérdida de carga en baterías.

### 2.6.2.2. Pérdidas de carga en interacumulador

Para calcular la pérdida de carga que se produce en el serpentín de nuestro interacumulador, el fabricante, LAPESA, aporta una gráfica a partir de la cual, con el caudal de circulación podemos obtener la pérdida de carga que se produce. Para nuestro modelo de interacumulador MXV-4000 SBB se muestra la figura 33.

Por lo tanto, siendo el caudal aproximado del circuito  $Q = 4,32 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Observando en la gráfica esta pérdida carga, obtenemos:

$$\Delta P_{int} = 350 \text{ mbar}$$

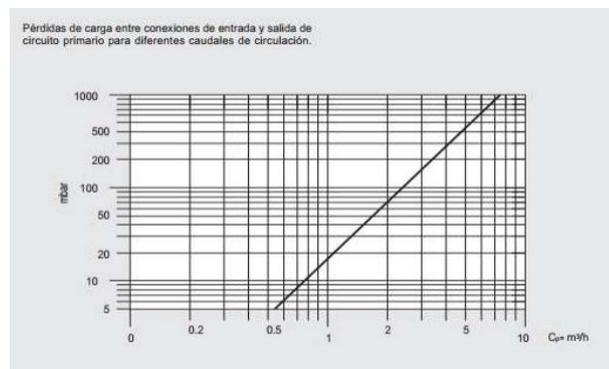


Figura 32: Pérdidas de carga en Interacumulador Modelo MXV-4000-SBB.

### 2.6.2.3. Pérdida de carga en tuberías

Las canalizaciones del circuito primario desde los captadores solares hasta el depósito solar se realizarán con tubería de cobre. El diámetro de las tuberías se determinará a partir del caudal que debe circular por cada tramo y teniendo en cuenta el fluido caloportador seleccionado. Para estimar el diámetro de la tubería de cobre adjunto a continuación la figura 35 que me sirve para la selección de tuberías para agua sin aditivos.

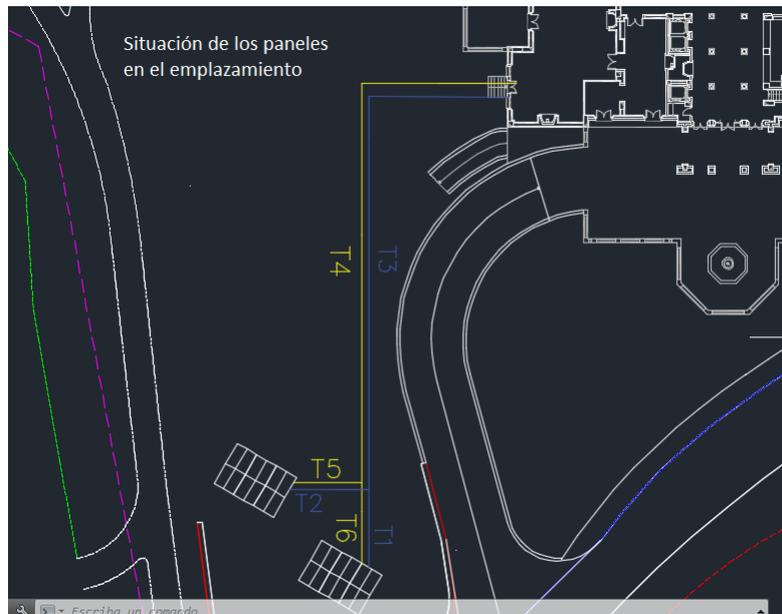


Figura 33: Tramos de las tuberías.

| Diámetro Nominal (mm) | Espesor de Pared (mm) | Diámetro Interior (mm) | Caudal (litros/h) |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| 18                    | 1,0                   | 16                     | Hasta 500         |
| 22                    | 1,0                   | 20                     | Hasta 950         |
| 28                    | 1,0                   | 26                     | Hasta 1900        |
| 35                    | 1,0                   | 33                     | Hasta 3600        |
| 42                    | 1,0                   | 40                     | Hasta 6200        |
| 54                    | 1,2                   | 51,6                   | Hasta 12000       |

Figura 34: Selección de diámetros de tuberías de cobre.

Se ha de tener en cuenta que el fluido escogido en este caso es agua con anticongelante, y por tanto, la pérdida de carga se ha de incrementar en un factor de 1,3.

Para el dimensionamiento del diámetro de las tuberías se debe tener en cuenta las recomendaciones de velocidad máxima y pérdida de carga unitaria dado por la norma.

En el dimensionamiento de las tuberías también tendremos en consideración que la circulación del fluido por el interior de un conducto produce unas pérdidas de presión por rozamiento o pérdidas de carga lineales que dependen del diámetro de la tubería, de la rugosidad, de las características del fluido y de su velocidad.

En la figura 34 podemos ver los distintos tramos que hemos tomado para el conexionado de las tuberías con los paneles.

En este proyecto las condiciones para el dimensionamiento del diámetro de las tuberías han sido:

- Tener unas pérdidas lineales inferiores a 40 mm.c.a. por metro lineal.
- La velocidad de circulación esté entre 0,3 y 2 m/s (locales habitados).
- Sea normalizada DN.

Teniendo presente estas condiciones, se determinan los diámetros de todos los tramos que componen el circuito primario como podemos ver en la tabla 16.

| TRAMO   | Cap. | L.<br>(m) | Q<br>(l/h) | DN<br>(mm) | D<br>(mm) | V<br>(m/s) | Pérdida<br>(mm.c.a./m) |
|---------|------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------------------|
| Tramo 1 | 12   | 7,43      | 1157,2     | 28         | 26        | 0,61       | 21,44                  |
| Tramo 2 | 12   | 7,52      | 1157,2     | 28         | 26        | 0,61       | 21,44                  |
| Tramo 3 | 24   | 56,45     | 2314,4     | 35         | 33        | 0,75       | 23,24                  |
| Tramo 4 | 24   | 56,5      | 2314,4     | 35         | 33        | 0,75       | 23,24                  |
| Tramo 5 | 12   | 6,46      | 1157,2     | 28         | 26        | 0,61       | 21,44                  |
| Tramo 6 | 12   | 7,74      | 1157,2     | 28         | 26        | 0,61       | 21,44                  |

Tabla 16: Cálculo de diámetros para cada tramo del circuito primario.

La velocidad se ha calculado como:

$$v = \frac{Q}{A} \text{ o bien; } \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

La expresión anterior toma la siguiente forma en función del sistema de unidades empleado para medir el caudal:

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

La manera de proceder para calcular el diámetro de la tubería sería la siguiente:

- El caudal Q es un dato que ya conocemos, según las necesidades de la instalación.
- De la tabla de tuberías de cobre se selecciona un diámetro de tubería.
- Haciendo uso de las expresiones anteriores, se calcula la velocidad de circulación del agua de manera iterativa con sucesivos diámetros hasta que finalmente resulta una pérdida de carga por metro de tubería lineal y una velocidad compatible con las condiciones que hemos impuesto en el diseño.

Existen numerosas expresiones empíricas que proporcionan unos resultados aproximados de la pérdida de carga unitaria de un tramo recto de tubería en función del diámetro y de la velocidad o el caudal.

Una de estas expresiones, obtenida a partir de la fórmula de Flamant, es la que he utilizado y es aplicable para tuberías de paredes lisas de cobre, por la que circula agua caliente sin aditivos:

$$PdC_{unitaria} = 378 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Siendo:

- $PdC_{unitaria}$ : La pérdida de carga en mm de columna de agua por metro lineal.
- $Q$ : El caudal de circulación por la tubería, en litros/h.
- $D$ : El diámetro interior de la tubería, en mm.

En el caso de que el líquido caloportador no sea agua, sino utilice una mezcla de agua y anticongelante a base de glicol, la pérdida de carga unitaria obtenida por la fórmula anterior deberá multiplicarse por 1,3 para tener en cuenta la mayor viscosidad del fluido.

Una vez determinado el diámetro de cada uno de los tramos, vamos a proceder a determinar la pérdida de carga total conociendo las pérdidas de carga asociadas a captadores y al intercambiador interno.

La pérdida de carga generada por los accesorios del circuito hidráulico en cada tramo se calcula en función de formulaciones empíricas cuya ecuación es:

$$\Delta P = K \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right)$$

Siendo:

- $\Delta P$ : Pérdidas de carga singulares.
- $v$ : Velocidad del fluido en singularidad (m/s).
- $g$ : Gravedad.
- $K$ : Coeficiente adimensional.

Donde el coeficiente adimensional  $v$ , que mide la caída de presión se mide experimentalmente y depende del diseño del fabricante. En la siguiente tabla se muestran estos valores.

Para el cálculo de pérdidas de carga en accesorios se ha tenido en cuenta los codos, ensanchadores y reductores dinámicos, bifurcaciones divergentes y convergentes de corriente, válvula de corte completamente abierta, válvula anti retorno y válvula de retención. En la tabla 17 podemos ver el valor de K para los distintos elementos:

| Elementos           | K    |
|---------------------|------|
| Codo 90°            | 0,3  |
| T flujo directo     | 0,2  |
| T flujo lateral     | 1    |
| V. de corte abierta | 0,15 |
| V. anti retorno     | 1    |
| Difusor             | 0,56 |
| Reductor            | 0,56 |
| V. Retención        | 1    |

Tabla 17: Factor K adimensional de accesorios para pérdida de carga

A continuación se muestra la pérdida de carga total en cada tramo. Aunque no aparezca en la tabla 18 se ha tenido en cuenta la pérdida de carga en difusor y reductor de diámetros.

| Tramos | v<br>(m/s) | L<br>(m) | Codos | Unión<br>T | V.<br>A.retorno | V.<br>Retención | PdC<br>Acce.<br>(mca) | PdC<br>Lineal<br>(mca) | Pdc<br>Total<br>(mca) |
|--------|------------|----------|-------|------------|-----------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Tramo1 | 0,61       | 7,43     | 0     | 0          | 1               | 2               | 0,057                 | 0,16                   | 0,217                 |
| Tramo2 | 0,61       | 7,52     | 0     | 1          | 0               | 0               | 0,019                 | 0,17                   | 0,189                 |
| Tramo3 | 0,75       | 56,45    | 1     | 0          | 0               | 0               | 0,0057                | 1,16                   | 1,166                 |
| Tramo4 | 0,75       | 56,5     | 1     | 0          | 0               | 0               | 0,0057                | 1,16                   | 1,166                 |
| Tramo5 | 0,61       | 6,46     | 0     | 1          | 0               | 0               | 0,019                 | 0,14                   | 0,159                 |
| Tramo6 | 0,61       | 7,74     | 0     | 0          | 0               | 0               | 0                     | 0,17                   | 0,17                  |

Tabla 18: Pérdida de carga total por tramos.

Para el cálculo de la pérdida de carga total no se tendrá en cuenta la suma de todas las cargas lineales y singulares calculadas anteriormente, sino aquellas que pertenezcan al recorrido más desfavorable.

Para ello voy a realizar un estudio de los recorridos posibles que tiene el circuito hidráulico. Un circuito lo considero el recorrido que sigue una partícula fluida desde que sale del interacumulador por la acometida fría hasta que retorna al mismo por la acometida caliente. Se presentan, en la tabla 19, los siguientes circuitos.

| Circuitos   | Pérdida de Carga (mca) |
|-------------|------------------------|
| T1,T3,T4,T6 | 2,719                  |
| T2,T3,T4,T5 | 2,68                   |

Tabla 19: Circuito de mayor pérdida de carga.

Debido a que los colectares están conectados mediante retorno invertido la diferencia entre la pérdida de carga que existe entre los circuitos es muy pequeña. Observando la tabla se puede llegar a la conclusión de que el circuito con mayor pérdida de carga es el primer y segundo circuito.

La altura manométrica  $H$  de la bomba en el punto de trabajo debe compensar las pérdidas de carga totales y viene definida por:

$$H = \Delta h_{\text{circuito}} + \Delta h_{\text{intercambiador}} + \Delta h_{\text{captador}} + 5\%_{\text{seguridad}}$$

$$H = (2,719 + 1,02 + 1,785) * 1,05 = \mathbf{5,8 \text{ m. c. a.}}$$

### 2.6.3. Selección de la bomba del circuito primario.

Para la instalación y el dimensionado de la bomba del circuito primario, se cumplirán los requisitos establecidos en el CTE.

Si el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la pérdida de carga o caída de presión se deberá mantener aceptablemente baja en todo el circuito. Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

En instalaciones con superficies de captación superiores a 50 m<sup>2</sup> se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. En este caso se establecerá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.

Debido al área que tenemos en este proyecto de captación, 55,85 m<sup>2</sup>, debemos instalar dos bombas en paralelo en el circuito primario.

Para la selección de la bomba existen dos métodos. El primer método sería calcular la potencia necesaria para impulsar el fluido y asegurar que la bomba pueda suministrar la potencia eléctrica necesaria para impulsar el fluido. La potencia de la bomba se calculará con la siguiente expresión:

$$P_{bomba} = \frac{m_{fluido} \cdot H}{\rho_{fluido} \cdot \eta}$$

Siendo:

- $m_{fluido}$ : Gasto másico del fluido en  $kg/s$ .
- $\rho_{fluido}$ : Densidad del fluido en  $kg/m^3$ .
- $H$ : Altura manométrica de la bomba en  $Pa$ .
- $\eta$ : Rendimiento de la bomba.

El rendimiento de las bombas para ACS suele ser muy bajo, pero para el cálculo tomamos el rendimiento de la bomba que posteriormente hemos seleccionado. Luego la potencia obtenida de la bomba es la siguiente:

$$P_{bomba} = \frac{0,6442 \cdot 56878,57}{1002 \cdot 0,422} = \mathbf{86,65 W}$$

Otra forma de seleccionar la bomba es recurrir directamente a las curvas de funcionamiento Q-H que ofrecen los fabricantes y que muestran la relación máxima de caudal y altura que puede ofrecer la bomba funcionando a máxima potencia.

El caudal que debe impulsar nuestra bomba en nuestro caso es de 2314,435 l/h y debe ser capaz de vencer una pérdida de carga de 5,8 m.c.a.

En la página oficial de GRUNDFOS, en el apartado de webcaps, existe la aplicación para poder seleccionar la bomba que mejor se adapta a nuestras condiciones de trabajo especificando el campo de trabajo, en nuestro caso calefacción y bombeo de ACS. También se debe introducir el caudal calculado que debe impulsar y que debe vencer la bomba en metros. Con todo esto GRUNDFOS nos da la solución que mejor se adapta a nuestra instalación y el resultado es la bomba MAGNA 32-60N.



Figura 35: Bomba del circuito primario GRUNDFOS, MAGNA 32-60 N.

La descripción técnica de esta bomba viene detallada en la memoria descriptiva.

#### 2.6.4. Selección del vaso de expansión.

Como ya hemos descrito en la memoria descriptiva, el circuito primario debe disponer de un vaso de expansión para absorber las dilataciones del fluido caloportador. El vaso de expansión evita que el fluido de trabajo escape a través de la válvula de seguridad (ya que es un circuito cerrado).

El depósito que se empleará es de tipo cerrado debido a su facilidad de ubicación y montaje. Además al no absorber oxígeno del aire y eliminar las pérdidas del fluido de trabajo por evaporación evitan deterioros en el mismo.

Atendiendo al CTE podemos ver que el vaso de expansión debe ser capaz de compensar el volumen del medio de transferencia de calor en todo el grupo de captadores completo incluyendo todas las tuberías entre captadores más un 10 %.

El diseño del vaso de expansión sigue las indicaciones de la norma UNE 100155:2004 de diseño de vasos de expansión y otras bibliografías.

En primer lugar, para el cálculo del vaso de expansión, se calculará el volumen total del fluido caloportador en el circuito primario de la instalación V, el cual se compone de la suma de los contenidos de los captadores, de las tuberías, del intercambiador de calor.

- Volumen en tuberías:

$$V = \pi \cdot \text{radio}^2 \cdot L_{\text{tubería}}$$

Esto está recogido en la tabla 20:

| R. Interior (m) | Longitud (m) | Capacidad (l) |
|-----------------|--------------|---------------|
| 0,013           | 29,15        | 15,477        |
| 0,0165          | 113          | 96,649        |
| <b>TOTAL</b>    |              | 112,16        |

Tabla 20: Volumen de agua total en tuberías.

- Volumen en captadores:

Las especificaciones técnicas del captador muestran que el volumen de líquido que almacena en su interior es igual a 1,26 litros. Luego:

$$\text{Total captadores} = 1,26 \text{ litros} \cdot 24 \text{ captadores} = 30,24$$

- Volumen en el intercambiador:

En el catálogo técnico del interacumulador se detalla la capacidad del serpentín de nuestro modelo, siendo esta de 48 litros.

En resumen, en la tabla 21:

|                      | Tuberías | Captadores | Intercambiador | Total |
|----------------------|----------|------------|----------------|-------|
| <b>Capacidad (l)</b> | 112,16   | 30,24      | 48             | 190,4 |

**Tabla 21: Resumen del volumen total de agua en la instalación.**

La capacidad del vaso de expansión ha sido calculado a través de un modelo formato Excel el cual se ha diseñado en base a la norma UNE 100155:2004. Se han obtenido los siguientes resultados recogidos en la tabla 22.

El vaso de expansión seleccionado es el 8 AMR Y tiene una capacidad de 8 litros, que es el volumen inmediatamente superior al calculado, este volumen supone un margen de seguridad con respecto al máximo esperable. Está diseñado para instalaciones solares. Las características de este se detallan en la memoria descriptiva.

|   |             |
|---|-------------|
| Fluido  | Agua+Glicol |
| Concentración del glicol (%)                                  | 30          |
| Temperatura máxima (°C)                                       | 55          |
| Coefficiente de expansión Ce                                  | 0,0225      |
| Volumen útil Vu (litros)                                      | 4,8273      |
| Presión de tarado de la válvula de seguridad (relativa) (bar) | 6           |
| Presión mínima en el vaso de expansión (relativa) (bar)       | 1,5         |
| Presión máxima PM (absoluta) (bar)                            | 6,4         |
| Presión mínima Pm(absoluta) (bar)                             | 2,5         |
| Coefficiente de presiones Cp                                  | 1,641       |
| Volumen total del vaso de expansión                           | 7,9217      |

**Tabla 22: Datos obtenidos del modelo diseñado por excell.**

## 2.7. Aislamiento térmico de las instalaciones

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios establece, para las condiciones de la instalación que estamos diseñando, que todas las tuberías y accesorios, así como equipos, aparatos y depósitos de las instalaciones térmicas, dispondrán de un aislamiento térmico.

El motivo de estos aislamientos son evitar consumos excesivos y disminuir las pérdidas energéticas.

### 2.7.1. Aislamiento en tuberías y accesorios

Las tuberías del circuito primario deben estar convenientemente aisladas tal y como se prescribe en el CTE y en el RITE.

El aislamiento de las tuberías de intemperie deberá llevar protección externa que asegure la durabilidad ante las acciones climatológicas admitiéndose revestimientos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas. El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

El RITE establece el grosor mínimo del aislamiento de las tuberías en función de la temperatura máxima del fluido que circula por su interior y el diámetro de la tubería. A continuación, en las tablas 23 y 24, se muestran los espesores mínimos de aislamiento para tuberías en función de la temperatura del fluido y de si están en exterior o en interior:

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

| Diámetro exterior (mm) | Temperatura máxima del fluido (°C) |            |             |
|------------------------|------------------------------------|------------|-------------|
|                        | 40...60                            | > 60...100 | > 100...180 |
| $D \leq 35$            | 35                                 | 35         | 40          |
| $35 < D \leq 60$       | 40                                 | 40         | 50          |
| $60 < D \leq 90$       | 40                                 | 40         | 50          |
| $90 < D \leq 140$      | 40                                 | 50         | 60          |

**Tabla 23: Espesor de aislamiento para tuberías calientes que discurren por el interior y exterior del edificio.**

| Diámetro exterior (mm) | Temperatura mínima del fluido (°C) |          |      |
|------------------------|------------------------------------|----------|------|
|                        | > -10...0                          | > 0...10 | > 10 |
| D ≤ 35                 | 30                                 | 25       | 20   |
| 35 < D ≤ 60            | 40                                 | 30       | 20   |
| 60 < D ≤ 90            | 40                                 | 30       | 30   |
| 90 < D ≤ 140           | 50                                 | 40       | 30   |
| 140 < D                | 50                                 | 40       | 30   |

| Diámetro exterior (mm) | Temperatura mínima del fluido (C) |          |      |
|------------------------|-----------------------------------|----------|------|
|                        | > -10...0                         | > 0...10 | > 10 |
| D ≤ 35                 | 50                                | 45       | 40   |
| 35 < D ≤ 60            | 60                                | 50       | 40   |
| 60 < D ≤ 90            | 60                                | 50       | 50   |
| 90 < D ≤ 140           | 70                                | 60       | 50   |
| 140 < D                | 70                                | 60       | 50   |

**Tabla 24: Espesor de aislamiento para tuberías frías que discurren por el interior y exterior del edificio.**

Estos espesores mínimos son válidos para materiales de conductividad térmica  $\lambda$  igual a 0,04 W/(m·°C) a 20 °C.

El aislamiento usado para las tuberías de la instalación del circuito primario está por poliuretano que cumple con las especificaciones técnicas.

Para todo el circuito hidráulico del primario, elijo un espesor de aislamiento basándome en que el rango de temperaturas que pueden darse está entre 60 y 100 °C. Luego para un diámetro menor o igual a 35 milímetros, para tuberías que discurren por el exterior del edificio y para una temperatura entre 60 y 100 °C el espesor de aislamiento debería ser 35 mm pero estas tuberías recorren distancias de más de 25 metros, luego siguiendo las instrucciones de la norma debemos ampliar ese espesor como mínimo 5 milímetros, luego el espesor que elijo es el inmediatamente superior en la tabla de espesores proporcionada por el RITE:

$$e_{\text{aislamiento tuberías exterior}} = 40 \text{ mm}$$

Para las tuberías que discurren por la sala de máquinas la norma establece que el espesor en interiores se ve reducido en 10 mm con respecto a las tuberías que discurren por el exterior del edificio, luego:

$$e_{\text{aislamiento tuberías interior}} = 25 \text{ mm}$$

### 2.7.2. Aislamiento en depósito de acumulación

Para capacidades de acumulación inferiores a 300 litros, el espesor mínimo será de 30 mm. Para volúmenes superiores el espesor mínimo será de 50 mm. Todo esto según las especificaciones técnicas en instalaciones solares térmicas.

Además según el *RITE*, cuando los acumuladores tengan superficie menor a 2 m<sup>2</sup> el aislamiento será como mínimo de 30 mm. Cuando sea superior a 2 m<sup>2</sup> poseerá una protección de 50 mm como mínimo, siempre que se emplee un material aislante con una conductividad de  $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ .

El interacumulador elegido para nuestra instalación *MASTER INOX, serpentines Modelo-SSB* van aislados con 80 mm de espesor de espuma rígida de poliuretano optimizada libre de CFC, inyectada en molde cumpliendo así la normativa.

### 2.7.3. Aislamiento del Vaso de Expansión

Para una conductividad térmica de  $\lambda=0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ , será como mínimo de 30 mm de espesor. El aislamiento debe ir recubierto de pintura tipo asfáltica, clorocaucho o similar.

El modelo elegido en nuestra instalación está homologado y se diseña de acuerdo a la normativa actual.

## 2.8. SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL

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

1. El sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas etc.
2. En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial y, en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los

captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2 °C.

3. Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.
4. El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.
5. El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.
6. Alternativamente al control diferencial, se podrán usar sistemas de control accionados en función de la radiación solar.
7. Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.

También hace referencia al sistema de medida y menciona lo siguiente acerca de este:

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

### 2.8.1. Equipos de Regulación y Control

El sistema de regulación escogido para la instalación solar es del fabricante *VISSMANN* modelo *Vitosolic 200*, el cual presenta las siguientes características:

1. Regulación electrónica por diferencia de temperatura para instalaciones con hasta cuatro consumidores.
2. Para instalaciones bivalentes con colectores de energía solar y calderas a gasóleo/gas para la producción bivalente de A.C.S.
3. Con lectura digital de la temperatura, balance de potencia y sistema de diagnóstico.
4. Es posible la comunicación con regulaciones de caldera para la supresión de calentamiento posterior del interacumulador de A.C.S. y/o calentamiento del volumen de precalentamiento de A.C.S.
5. Control de bombas con regulación de revoluciones para sistemas de carga por estratos.
6. Posibilidad de conexión para contador de calorías y/o célula solar.
7. Para montaje en la pared, sondas de temperatura del interacumulador y del colector así como otra sonda de temperatura más incluida en el volumen de suministro.



**Figura 36: Sistema de regulación *Vitosolic 200*.**

La integración de la regulación en la instalación solar se detalla en el plano de esquema de principio de la instalación donde se muestra un esquema de principio “ estándar” de la instalación solar con acumulación centralizada acoplada en serie con un sistema centralizado de A.C.S. Esto nos permite un mejor visualización del funcionamiento del sistema de control.

## 2.9. SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR

El sistema solar que se ha diseñado no cubre toda la demanda de energía térmica de la instalación esto obliga a no poder prescindir del sistema de calderas convencional. Ha de tenerse en cuenta que la producción agregada anual del sistema solar estará en torno al 70 % de la demanda. Ello no significa que el sistema auxiliar deba dimensionarse para aportar el 30 % restante.

El subsistema de apoyo se debe dimensionar de forma que aporte todo el calor necesario en la instalación como si no se dispusiese del sistema solar ya que habrá días de Diciembre, por ejemplo, en los que el aporte de calor solar será nulo. Por otra parte se deberá suplir la demanda energética en caso de mantenimiento o reparación de la instalación solar.

### 2.9.1. Volumen de Acumulación Convencional

En primer lugar, debemos obtener el caudal de cálculo para luego definir el volumen de acumulación convencional. Para ellos se aplicará la fórmula indicada en el apartado 5 de la norma *UNE 149201*, mostrada en la tabla 25, donde  $Q_c$  es el caudal total instalado.

| Tipo de Edificación                            | $Q_t > 20 \text{ l/s}$                  | $Q_t \leq 20 \text{ l/s}$                |  |                                       |
|--|---|--|--|---------------------------------------|
|  |   | Si todo $Q_{\min} < 0,5 \text{ l/s}$     | Si algún $Q_{\min} \geq 0,5 \text{ l/s}$ |                                       |
|  |   |  | $Q_t \leq 1 \text{ l/s}$                 | $Q_t > 1 \text{ l/s}$                 |
| Edificios de viviendas                         | $Q_c = 1,7 \times (Q_t)^{0,21} - 0,7$   | $Q_c = 0,682 \times (Q_t)^{0,45} - 0,14$ | $Q_c = Q_t$                              | $Q_c = 1,7 \times (Q_t)^{0,21} - 0,7$ |
| Edificios de oficinas, estaciones, aeropuertos | $Q_c = 0,4 \times (Q_t)^{0,54} + 0,48$  |  |  |                                       |
| Edificios de hoteles, discotecas, museos       | $Q_c = 1,08 \times (Q_t)^{0,5} - 1,83$  | $Q_c = 0,698 \times (Q_t)^{0,5} - 0,12$  | $Q_c = Q_t$                              | $Q_c = (Q_t)^{0,366}$                 |
| Edificios de centros comerciales               | $Q_c = 4,3 \times (Q_t)^{0,27} - 6,65$  |  |  |                                       |
| Edificios de hospitales                        | $Q_c = 0,25 \times (Q_t)^{0,65} + 1,25$ |  |  |                                       |

| Tipo de Edificación                   | $Q_t > 20 \text{ l/s}$                   | $Q_t \leq 20 \text{ l/s}$  |  |
|---------------------------------------|--|----------------------------|--|
|                                       |  | $Q_t \leq 1,5 \text{ l/s}$ | $Q_t > 1,5 \text{ l/s}$                |
| Edificios de escuelas, polideportivos | $Q_c = -22,5 \times (Q_t)^{-0,5} + 11,5$ | $Q_c = Q_t$                | $Q_c = 4,4 \times (Q_t)^{0,27} - 3,41$ |

Donde:

$Q_t$  es el caudal total instalado (suma de los caudales mínimos de cada aparato  $Q_{\min}$  según la tabla 2.1 del DB HS4)

$Q_c$  es el caudal simultáneo o de cálculo

Tabla 25: Cálculo del caudal simultáneo *UNE: 14201*

Para el cálculo del caudal total instalado recurrimos a la tabla 26 suministrada por el CTE:

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

Tabla 26: Cálculo del caudal instantáneo CTE HS4.

Este caudal se calcula como la suma de todos los puntos de consumo que existen en el edificio. Para ello muestro a continuación, en la tabla 27, un inventario recogiendo todos los puntos de consumo que existen en el edificio principal del hotel.

| Aparato               | Planta -2 a -1<br>(Garage y club de golf) | Planta 0<br>(Restaurante) | Plantas 1 a 4<br>(Habitaciones) |
|-----------------------|---|---------------------------|---------------------------------|
| Lavabo                | 8   | 4                         | 59                              |
| Bidé                  | 4   | 4                         | 55                              |
| Bañera de 1,4 m o más | 0   | 0                         | 55                              |
| Bañera de menos 1,4 m | 0   | 0                         | 0                               |
| Retrete con cisterna  | 8   | 8                         | 59                              |
| Lavavajillas          | 1   | 4                         | 0                               |
| Fregadero             | 1   | 4                         | 3                               |
| <b>TOTAL</b>          | <b>20</b>                                 | <b>24</b>                 | <b>231</b>                      |

Tabla 27: Puntos de consumo de la instalación.

En total tendremos 275 aparatos en el edificio principal del hotel.

A continuación, mostrándolo en la tabla 28, se calculan los caudales para cada planta en  $dm^3/s$ :

| Aparato               | Caudal de ACS ( $dm^3/s$ ) | Planta -2 a-1 (Garage y club de golf9) | Planta 0 (Restaurante) | Plantas 1 a 4 (Habitaciones) |
|-----------------------|----------------------------|--|------------------------|------------------------------|
| Lavabo                | 0,03                       | 0,24                                   | 0,12                   | 1,77                         |
| Bidé                  | 0,065                      | 0,52                                   | 0,26                   | 3,575                        |
| Bañera de 1,4 m o más | 0,2                        | 0                                      | 0                      | 11                           |
| Bañera de menos 1,4 m | 0,15                       | 0                                      | 0                      | 0                            |
| Retrete con cisterna  | -                          | -                                      | -                      | -                            |
| Lavavajillas          | 0,1                        | 0,1                                    | 0,4                    | 0                            |
| Fregadero             | 0,1                        | 0,1                                    | 0,4                    | 0,3                          |
| <b>TOTAL</b>          | -                          | 0,96                                   | 1,18                   | 16,645                       |

Tabla 28: Total del caudal de consumo instantáneo.

$$Total\ instalación = Q_T = 18,785 \frac{dm^3}{s} = 67626 \frac{litros}{h}$$

Este proyecto, como ya se ha descrito con anterioridad, tiene la función de un hotel, luego como tipo de edificación para el cálculo de  $Q_C$  tomo *Edificios de Hoteles* de la tabla:

$$Q_C = Q_T^{0,366} = 2,926 \frac{litros}{s} = 10532,16 \text{ litros/h}$$

En el apartado 4.5.2.1 de la norma *UNE:149201* se detalla cómo se obtiene el volumen del depósito en función del tiempo previsto de utilización, aplicando la siguiente expresión:

$$V = Q_C \cdot t \cdot 60$$

Siendo:

- V: Volumen del depósito en litros.
- $Q_C$ : Caudal máximo simultáneo.
- t: Tiempo estimado (de 15 a 20 minutos)

Para el cálculo suponemos un consumo de 20 minutos que viene a ser lo máximo:

$$V = 2,926 \frac{\text{litros}}{\text{s}} \cdot 20 \text{ minutos} \cdot \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 3511,2 \text{ litros}$$

La instalación no dispone de ningún acumulador para el sistema convencional luego partimos de cero. En la memoria descriptiva se selecciona un acumulador para el sistema auxiliar con capacidad suficiente

### 2.9.2. Selección de la caldera

El primer paso para poder seleccionar la caldera es conocer su potencia nominal útil, la cual se detalla a través de la siguiente expresión:

$$P_{\text{útil}} = C_e \cdot V \cdot \frac{T_{ACS} - T_{AF}}{t_{pre}}$$

Siendo:

- $P_{\text{útil}}$ : Potencia útil de la caldera en kW.
- $V$ : Volumen de acumulación convencional en litros.
- $T_{ACS}$ : Temperatura del ACS en °C.
- $T_{AF}$ : Temperatura de agua fría en la red en °C.
- $t_{pre}$ : Tiempo de preparación (1 hora aprox).

Este cálculo deber particularizarse para los meses de Enero y Diciembre, en los cuales se producen el mayor salto de temperaturas entre el agua de la red y el agua de A.C.S., luego, para  $T_{ACS} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $T_{AF} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  :

$$P_{\text{útil}} = 4,187 \cdot 3511,2 \cdot \frac{30}{3600} = 122,51 \text{ kW}$$

Para tener en cuenta las pérdidas que se dan por disposición en servicio, la potencia nominal de la caldera será:

$$P_{\text{nom}} = P_{\text{útil}} \cdot 1,25 = 153,14 \text{ kW}$$

La caldera seleccionada es una caldera de condensación a gas *VITOCROSSAL 200 de VIESSMANN*:



**Figura 37: Caldera de consumo a gas VITOCROSSAL 200 VISSMANN.**

Las características principales son:

- Potencia térmica: de 87 a 311 Kw.
- Dimensiones: 1795x916x1450 mm.
- Peso total: 347 kg.
- V. de agua: 292 litros.

## **3. Pliego de condiciones técnicas**

### 3.1. Objeto

El presente pliego de condiciones técnicas fija los criterios generales del proyecto de instalación de captadores solares planos para la producción de agua caliente sanitaria en el hotel de Marbella.

Habrán de definirse los equipos y materiales utilizados, montajes de los equipos, además de las pruebas y ensayos parciales a realizar, detallándose también su mantenimiento.

### 3.2. Normativa aplicable

Todos los materiales y tareas que forman parte de la Instalación deberán cumplir con los requisitos exigidos en los siguientes reglamentos:

- Pliego de Especificaciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Térmica a baja Temperatura.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones Complementarias MI.BT, incluidas las hojas de interpretación.
- Código Técnico de la Edificación.
- Acciones en la Edificación (CTE-DB-AE).
- Código Técnico de la Edificación
- Protección frente al ruido (CTE-DB-HR)
- Código Técnico de la Edificación
- Seguridad en caso de incendio (CTE-DB-SI).
- Norma UNE-EN 12975-1:2006. "Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares."
- Igualmente, se cumplirá con toda la normativa de carácter regional y local (Ordenanzas, etc.).
- Aparte de la Normativa de carácter obligatorio antes mencionada, se utilizarán otras normas como las UNE de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), normas NTE del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo o de las Compañías suministradoras de energía eléctrica, etc. En ocasiones, a falta de normativa Española, podrán utilizarse de organismos internacionales, como CER, ISO, etc. En cualquier caso se seguirá la edición más reciente de toda la normativa mencionada, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.

De igual manera, se respetarán cualesquiera otras normativas o reglamentos mencionados en el presente pliego.

### 3.3. Condiciones de materiales y equipo

#### 3.3.1. Tuberías y accesorios

En los distintos circuitos cerrados de la instalación podrán utilizarse tuberías de cobre, de acero negro, de acero inoxidable o material plástico compatibles con el fluido que utilizan, que soporten las condiciones extremas de funcionamiento del correspondiente circuito y con la protección necesaria en función de su ubicación.

En los circuitos de agua caliente sanitaria podrán utilizarse cobre y acero inoxidable. Podrán utilizarse materiales plásticos que soporten las condiciones extremas (presión y temperatura) de funcionamiento del circuito, y que estén autorizadas por la normativa vigente.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión que soporten las condiciones extremas o, mediante soldadura por capilaridad de acuerdo a la norma UNE EN 1057. Se realizara soldadura fuerte cuando la temperatura del circuito pueda superar en algún momento los 125°C.

En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero según Norma UNE 100050.

Todos los elementos metálicos no galvanizados, ya sean tuberías, soportes, o bien accesorios, o que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por su fabricante, se les aplicara dos capas de pintura antioxidante a base de resinas sintéticas acrílicas multipigmentadas por minio de plomo, cromado de zinc y óxido de hierro. Las dos manos se darán: la primera fuera de obra y la otra con el tubo instalado.

- **Accesorios:**

1) Compensadores de dilatación

Se utilizaran en los circuitos de agua caliente. Los compensadores de dilatación han de ser instalados allí donde indique el plano y, en su defecto, donde se requiera según la experiencia del instalador, adaptándose a las recomendaciones del Reglamento E Instrucciones Técnicas correspondientes.

La situación será siempre entre dos puntos fijos garantizados como tales, capaces de soportar los esfuerzos de dilatación y de presión que se originan.

Los extremos del compensador serán de acero al carbono preparados para soldar a la tubería con un chaflán de 37o 30' y un talón de 1,6 mm cuando el diámetro nominal de

la tubería sea de hasta 2" inclusive. Para tuberías de diámetro superior, las conexiones serán por medio de bridas en acero al carbono s/normas DIN 2502 o 2503, según las presiones sean de 6 y 10 o 16 Kg/cm<sup>2</sup>. Estas bridas irán soldadas a los cuellos del compensador por los procedimientos recomendados para la soldadura de piezas en acero al carbono de espesores medios.

## 2) Juntas

No se utilizara amianto. La presión nominal mínima será PN-10, y soportaran temperaturas de hasta 200°C.

## 3) Lubricantes de roscas

General: no endurecedor, no venenoso.

## 4) Acoplamientos dieléctricos o latiguillos

Se incluirán acoplamientos dieléctricos o latiguillos en las uniones entre cobre y acero o fundición, tanto en la conducción de impulsión, como en el retorno.

## 5) Derivaciones

Para las derivaciones se pueden usar empalmes soldados. Todas las aberturas realizadas a las tuberías se harán con precisión para lograr intersecciones perfectamente acabadas.

## 6) Codos en bombas

Para las derivaciones se pueden usar empalmes soldados. Todas las aberturas realizadas a las tuberías se harán con precisión para lograr intersecciones perfectamente acabadas.

## 7) Sombreretes

Se incluirá la protección adecuada para cada una de las tuberías que pasen a través del tejado de acuerdo a las instrucciones de la Dirección Facultativa.

## 8) Guías

Se suministrarán guías, donde se indique y donde sea necesario como en liras, juntas de expansión, instaladas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

## 9) Termómetros

Los termómetros serán de mercurio en vidrio, con una escala adecuada para el servicio (divisiones de 1/2 grado) dentro de una caja metálica protectora con ventana de vidrio, instalados de modo que su lectura sea sencilla.

#### 10) Válvulas de seguridad

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias (de tarado adecuado) para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte. Serán adecuadas para condiciones de trabajo de 0 a 120°C y hasta 25 kg/cm<sup>2</sup>. Los materiales de fabricación serán bronce RG-5 para el cuerpo, vástago, tornillo de fijación, tuerca deflectora y la tobera, latón para el cabezal y obturador, acero cadmiado para el resorte y PTFE para la junta.

#### 11) Manómetro

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento en acero inoxidable, e inmersos en glicerina. Los rangos de los manómetros serán tales que la aguja, durante el funcionamiento normal, este en el medio del dial. La precisión será de al menos el 1%. Puntos de toma de presión: Se incluirán los puntos de toma con válvula necesarios y/o indicados en planos o especificaciones.

#### 12) Purgadores de aire

Cuando sea necesario, y con el fin de disponer de una instalación silenciosa y evitar formación de cámaras de aire se dispondrá la tubería con pendiente ascendente hacia la dirección de flujo. Las derivaciones se harán de tal modo que se eviten retenciones de aire y se permita el paso libre del mismo. Se incluirán purgadores de aire, manuales o automáticos, en todos los puntos altos, particularmente en los puntos más elevados de los montantes principales así como en todos los puntos necesarios, teniéndose especial cuidado en los retornos (ascensos, codos ascendentes).

En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalaran nuevos empalmes, purgadores, válvulas según se considere necesario y sin costes extra. Si se deben realizar trabajos que requieran rotura, y reposición de acabados, el contratista se hará cargo de los gastos generados.

Se preferirán por norma general los purgadores manuales, salvo en puntos ocultos o de difícil acceso, que hagan recomendable la instalación de purgadores automáticos.

#### 13) Vaciados

Los vaciados, purgadores, válvulas de seguridad, reboses, se dirigirán al sumidero o desagüe más cercano. En cualquier caso, se adoptaran las medidas oportunas para evitar que una descarga accidental produzca danos o desperfectos. Se suministrarán

las válvulas de vaciado que sean necesarias para el vaciado completo de todas las tuberías y equipos.

#### 14) Conexiones a equipos

Se dispondrán elementos de unión que permitan una fácil conexión y desconexión de los diferentes equipos y elementos de la red de tuberías, tales como latiguillos, bridas, etc., dispuestas de tal modo que los equipos puedan ser mantenidos o que puedan retirarse sin tener que desmontar la tubería. La instalación se realizara de tal modo que no se transmitan esfuerzos de las redes de tuberías a los equipos.

### **3.3.2. Válvulas**

#### 3.3.2.1. Generalidades

Las válvulas llevaran impreso de forma indeleble el diámetro nominal, la presión nominal y, si procede, la presión de ajuste.

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

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvula de resorte.
- Para retención: válvulas de disco, de capeta o de muelle (disco partido).

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

Los purgadores automáticos resistirán las presiones y temperaturas máximas alcanzables en el circuito correspondiente. Los del circuito primario se recomienda que resistan, al menos, temperaturas de 150°C.

### 3.3.2.2. Materiales

Los componentes fundamentales de las válvulas deberían estar constituidos por los materiales que se indican a continuación:

Válvulas de esfera:

- Cuerpo de fundición de hierro o acero.
- Esfera y eje de acero duro cromado o acero inoxidable.
- Asientos, estopada y juntas de teflón. Podrán ser de latón estampado para diámetros inferiores a 1 1/2 con esfera de latón duro cromado.

Válvulas de asiento:

- Cuerpo de bronce (hasta 2") o de fundición de hierro o acero.
- Tapa del mismo material que el cuerpo.
- Obturador en forma de pistón o de asiento plano con cono de regulación de acero inoxidable y aro de teflón. No será solidario al husillo.
- El asiento será integral en bronce o en acero inoxidable según el cuerpo de la válvula.
- Prensa, estopas del mismo material que cuerpo y tapa.

Válvulas de seguridad de resorte:

- Cuerpo de hierro fundido o acero al carbono con escape conducido.
- Obturador y vástago de acero inoxidable.
- Prensa, estopas de latón. Resorte en acero especial para muelle.

Válvulas de retención de clapeta:

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

Válvulas de retención de muelle:

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

Purgadores automáticos de aire:

- Cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón.
- Mecanismo de acero inoxidable.

- Flotador y asiento de acero inoxidable o de plástico.
- Obturador de goma sintética.

### **3.3.3. Aislamiento**

El material usado como aislamiento debería cumplir con la norma UNE 100171.

El material aislante situado a la intemperie debería protegerse adecuadamente frente a los agentes atmosféricos de forma que se evite su deterioro.

Como protección del material aislante se podrá utilizar una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio.

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

En el caso de acumuladores e intercambiadores de calor situados a la intemperie podrán usarse forros de telas plásticas como protección del material aislante.

### **3.3.4. Vasos de expansión**

Los vasos de expansión serán siempre cerrados. El vaso de expansión llevara una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrito con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

- Fabricante
- Marca
- Modelo

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

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

El cuerpo exterior del depósito será de acero, timbrado y estará construido de forma que sea accesible la membrana interior de expansión. El interior tendrá un tratamiento

anticorrosivo y exteriormente un doble tratamiento antioxidante con acabado pintado al duco o esmaltado al horno.

El depósito estará dividido en dos cámaras herméticas entre sí, por la membrana de dilatación, construida en caucho butílico o polipropileno, con elasticidades recuperables a temperaturas inferiores a 60°C, sin degradación del material. La cámara de expansión de gas estará rellena con nitrógeno u otro gas inerte disponiendo de acometida para reposición de gas y manómetro. En la acometida del agua se incluirá manómetro, termómetro, válvula de alimentación, purga de agua y seguridad. Asimismo, esta acometida dispondrá de sifón en cuya parte superior se dispondrá de botellón de recogida de aire con purgador manual y automático

### **3.3.5. Bombas**

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

- Fabricante
- Marca
- Modelo
- Características eléctricas

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

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga.
- Rodete de fundición/polysulfone o bronce.
- Eje en acero inoxidable AISI 316.
- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- Cojinetes a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.
- Cierres Mecánicos: todas las bombas deberán de estar provistas con cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- Juntas torcas de EPDM.
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos de proyecto.
- Motor de 2 o 4 polos, 2900 o 1450 rpm, 220V/1~ o 220/380V/ 3~, 50 Hz, IP.44 clase F.
- Presión de aspiración 2 maca. para 82°C.

- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, número de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
- Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

### **3.3.6. Captadores**

#### **3.3.6.1. Generalidades**

El captador llevara una etiqueta visible y duradera con los siguientes datos:

- Nombre del fabricante.
- Tipo.
- Número de serie.
- Año de fabricación.
- Superficie total del captador.
- Dimensiones del captador.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura de estancamiento a 1000 W/m<sup>2</sup> y 30°C.
- Volumen del fluido de transferencia de calor.
- Peso del captador vacío.
- Lugar de fabricación.

Es recomendable que se utilicen captadores solares que se ajusten a las siguientes características técnicas:

- Material de la cubierta transparente: vidrio templado de espesor no inferior a 3 mm y transmitancia mayor o igual a 0,8.
- Distancia media entre el absorbedor y la cubierta transparente no inferior a 2 cm ni superior a 4 cm.
- Absorbedor constituido solo por materiales metálicos.

La instalación de sistemas integrados en cubierta se debería realizar mediante procedimiento acreditado por el fabricante y de forma que se garanticen las características funcionales y de durabilidad del conjunto.

Los datos para la caracterización térmica, hidráulica y mecánica del captador solar deberían proceder de los resultados del ensayo realizado conforme a la norma UNE 12975. A estos efectos, es importante señalar que la función de rendimiento del captador siempre está relacionada con una superficie útil y un caudal de ensayo.

#### 3.3.6.2. Modelo del captador

Todos los captadores que integren la instalación se recomienda que sean del mismo tipo y modelo.

Si no fuera posible mantener el mismo modelo en la rehabilitación o ampliación, se dispondrá de un sistema de regulación de caudal por baterías que permita que las nuevas baterías presenten el mismo caudal (diferencia máxima del 10%) que las existentes cuando circule por el circuito primario el caudal de diseño.

En el caso que la instalación disponga de captadores en una única batería, se podrán utilizar captadores distintos siempre que:

- No implique modificaciones en el caudal que circula por dicho captador fuera del rango  $\pm 5\%$  respecto del caudal original de diseño unitario.
- No suponga una disminución del rendimiento térmico del sistema de captación en las condiciones habituales de operación.
- Estéticamente sean similares.

#### 3.3.6.3. Estructura soporte y sujeción del captador

La estructura soporte cumplirá los requisitos establecidos en el CTE-SE.

Todos los materiales de la estructura soporte se deberían proteger contra la acción de los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la acción combinada del aire y el agua. Las estructuras de acero deberían protegerse mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes. La realización de taladros en la estructura se debería llevar a cabo antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura.

La tornillería y piezas auxiliares deberían estar protegidas por galvanizado o cincado, o bien serán de acero inoxidable.

### **3.3.7. Sistema eléctrico y de control**

La instalación eléctrica cumplirá con el vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Se construirá un cuadro eléctrico específico para la instalación solar. El sistema de control consistirá en un controlador digital programable e incorporará una adquisición de datos de la instalación en tiempo real, telegestionable a distancia a través de un módem ya incorporado. Los datos a chequear serán: caudales, temperaturas en captadores, acumuladores, potencia y energía inyectadas en cada servicio y número de horas de funcionamiento de las bombas

Las funciones de regulación y control que han de realizarse son las siguientes:

- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperatura entre la salida de la batería de captadores y la parte baja del acumulador.
- La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que detecten exactamente las temperaturas que se desean, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los colectores y las zonas de estancamiento (en el caso de la piscina).
- La precisión de los sistemas de control y la regulación de los puntos de consigna asegurará que en ningún caso las bombas estén en marcha con diferencias de temperaturas menores de 3°C ni paradas con diferencias superiores a 7°C.
- La diferencia de temperatura entre el punto de arranque y parada del termostato diferencial no será inferior a 3°C.
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

### **3.3.8. Aparatos de medida**

Los sistemas de medida de temperatura, caudales y energía proporcionan información del estado de funcionamiento de la instalación y permiten realizar la evaluación de las prestaciones energéticas de la instalación.

#### **1) Medida de temperaturas**

Las medidas de temperatura se realizarán mediante sondas, termopares, termómetros de resistencia o termistores.

La diferencia de temperatura del fluido de trabajo se realizarán mediante termopilas, termómetros de resistencia (conectados en dos brazos de un circuito en puente) o termopares emparejados, de forma que la señal de salida sea única en todos los casos.

Las sondas de temperatura deben ser, preferentemente, de inmersión y deben estar bañadas por el fluido cuya temperatura se pretende medir o situadas, como máximo, a una distancia de 5 cm del fluido.

## 2) Medida de caudal

Los contadores de caudal de agua estarán constituidos por un cuerpo resistente a la acción del agua conteniendo la cámara de medida, un elemento con movimiento proporcional al caudal de agua que fluye y un mecanismo de relojería para transmitir este movimiento a las esferas de lectura por medio de un acoplamiento magnético. La esfera de lectura, herméticamente sellada, será de alta resolución.

Cuando exista un sistema de regulación exterior, este estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas. Se suministrarán los siguientes datos, que deberán ser facilitados por el fabricante:

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

La medida de caudales de líquidos se realizará mediante turbinas, medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimientos gravimétricos, de forma que la exactitud sea igual o superior a  $\pm 3\%$  en todos los casos.

## 3) Medida de energía térmica

Los contadores de energía térmica estarán constituidos por los siguientes elementos:

- contador de agua, descrito anteriormente.
- Dos sondas de temperatura.
- Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado.

La posición del contador y de las sondas define la energía térmica que se medirá.

El microprocesador podrá estar alimentado por la red eléctrica o mediante pilas con una duración de servicio mínima de 3 años.

El microprocesador multiplicara la diferencia de ambas temperatura por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionara la cantidad de energía

### **3.3.9. Acumuladores**

El acumulador seleccionado deberá especificar el tipo y las siguientes características técnicas:

- Volumen cubicado real.
- Principales dimensiones.
- Presión de máximo trabajo.
- Situación y diámetro de las bocas de conexión.
- Situación y especificación de los puntos de sujeción o apoyos.
- Máxima temperatura de utilización.
- Tratamiento y protección.
- Material y espesor de aislamiento y características de su protección.

El depósito estará fabricado de acuerdo con lo especificado en el Reglamento de Aparatos a Presión, instrucción Técnica Complementaria MJE-AP11 y probado con una presión igual a dos veces la presión de trabajo y homologado por el Ministerio de Industria y Energía.

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

- Nombre del fabricante y razón social.
- Contraseña y fecha de registro de tipo.
- Numero de fabricación.
- Volumen neto de almacenamiento en litros.
- Presión máxima de servicio.

Los depósitos vendrán equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas antes de efectuar el tratamiento de protección interior.

Al objeto de este pliego de condiciones podrán utilizarse depósitos de las siguientes características y tratamientos:

- Depósitos de acero galvanizado en caliente de cualquier tamaño, con espesores de galvanizado no inferiores a los especificados en la Norma UNE 37.501.

- Depósitos de acero con tratamiento epoxídico.
- Depósitos de acero inoxidable de cualquier tamaño.
- Depósitos de cobre de cualquier tamaño.
- Acumuladores no metálicos que, además de soportar las condiciones extremas del circuito, resistan la acción combinada de presión y temperatura más desfavorable y este autorizada su utilización por la Administración Competente.

Cuando el intercambiador está incorporado al acumulador solar, éste estará situado en la parte inferior de este último y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente. El intercambiador sumergido podrá ser de serpentín o de haz tubular.

### **3.3.10. Intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor serán de acero inoxidable AISI 316 L. El intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima de la instalación. Los materiales soportaran temperaturas de 110°C y serán compatibles con el fluido de trabajo.

#### **3.3.10.1. Intercambiadores externos**

El intercambiador llevara una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrita con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

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

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

### **3.4. Provisión del material**

Los componentes instalados deberán ser de marcas acreditadas y en su caso homologados, para que ofrezcan las máximas garantías posibles.

Se dispondrá de un lugar adecuado y seguro para almacenar los materiales y elementos de la instalación hasta el momento en que estos vayan a ser puestos en obra.

Los captadores, por su especial fragilidad, deberán ser suministrados apilados sobre una base de madera adecuada para su traslado mediante carretilla elevadora.

En el supuesto de que los captadores una vez desembalados deban quedarse temporalmente a la intemperie, se colocaran con un Angulo mínimo de 20º y máximo de 80º.

### **3.5. Condiciones de montaje**

Las condiciones de montajes serán las indicadas por los fabricantes de los diferentes materiales, aparatos o equipos. La instalación de las distintas partes de la obra se realizara teniendo en cuenta la práctica normal conducente a obtener un buen funcionamiento durante el periodo de vida que se le puede atribuir.

### **3.6. Pruebas, puesta en marcha y recepción**

#### **3.6.1. General**

La ejecución de la instalación termina con la entrega de la instalación al promotor o usuario para iniciar el periodo de uso así como el de mantenimiento. Para realizar la recepción de la instalación debería estar realizado, además del montaje completo, las pruebas y ajustes especificados, así como la puesta en marcha.

El instalador se responsabilizara de la ejecución de las pruebas funcionales, del buen funcionamiento de la instalación y del estado de la misma hasta su entrega a la propiedad.

La memoria de diseño contemplará la relación de las pruebas a realizar. En el documento de Control de Ejecución se recogerán las pruebas parciales, finales y funcionales realizadas, la fecha en la que tuvieron lugar, los resultados obtenidos y el

grado de cumplimiento de las expectativas. Al objeto de la recepción de la instalación se entenderá que el funcionamiento de la misma es correcto, cuando la instalación satisfaga como mínimo las pruebas parciales incluidas en el presente capítulo.

### **3.6.2. Pruebas parciales**

Todas las pruebas estarán precedidas de una comprobación de los materiales al momento de su recepción a obra.

Durante la ejecución de obra, todos los tramos de tubería, uniones o elementos que vayan a quedar ocultos, deberían ser expuestos para su inspección y debería quedar expresamente aprobado su montaje antes de quedar ocultos.

Adicionalmente, se inspeccionaran los soportes de tubería utilizados, los diámetros, trazados y pendientes de tuberías, la continuidad de los aislamientos, etc.

#### **3.6.2.1. Pruebas de equipos**

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

#### **3.6.2.2. Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas**

Todas las redes de circulación de fluidos portadores deberían ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su estanquidad, antes de quedar ocultas por obras de albañilería, material de relleno o por el material aislante. Son aceptables las pruebas realizadas de acuerdo a UNE-EN 14336:2005, en función del tipo de fluido transportado.

#### **3.6.2.3. Pruebas de libre dilatación**

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de

seguridad, las instalaciones equipadas con captadores solares se llevaran hasta la temperatura de estancamiento de los elementos de seguridad, habiendo anulado previamente la actuación de los aparatos de regulación automática.

Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobara visualmente que no hayan tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

### **3.6.3. Pruebas finales**

Las pruebas finales permitirán garantizar que la instalación reúne las condiciones de calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en proyecto.

Son aceptables, las pruebas finales que se realicen siguiendo las instrucciones indicadas en la norma UNE-EN 12599.

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

En la instalación solar se llevara a cabo una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario, a realizar con este lleno y la bomba de circulación parada, cuando el nivel de radiación sobre la apertura del captador sea superior al 80% del valor de irradiación que defina como máxima el proyectista, durante al menos una hora.

### **3.6.4. Ajustes y equilibrado**

La instalación solar debería ser ajustada a los valores de proyecto dentro de los márgenes admisibles de tolerancia. Se realizaran de acuerdo con lo establecido en la Norma UNE 100.010 (partes 1, 2 y 3), "Climatización. Pruebas de ajuste y equilibrado", que habrá que particularizar para las características específicas de cada sistema o instalación.

#### **3.6.4.1. Sistemas de distribución de agua**

Se comprobará que el fluido anticongelante contenido en los circuitos expuestos a heladas cumple con los requisitos especificados en el proyecto.

Cada bomba, de la que se debería conocer la curva característica, debería ser ajustada al caudal de diseño, como paso previo al ajuste de los caudales en circuitos.

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

Los distintos ramales, o los dispositivos de equilibrado de los mismos, serán equilibrados al caudal de diseño. Se debería comprobar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales mediante el procedimiento previsto en el proyecto.

De cada intercambiador de calor se deberían conocer la potencia, temperatura y caudales de diseño, debiéndose ajustar los caudales de diseño que lo atraviesan.

Cuando exista más de un grupo de captadores solares en el circuito primario del subsistema de energía solar, se debería probar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales de la instalación mediante el procedimiento previsto en el proyecto.

Se comprobará el mecanismo del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento así como el retorno a las condiciones de operación nominal sin intervención del usuario con los requisitos especificados en el proyecto.

#### 3.6.4.2. Control automático

Se ajustaran todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados en el proyecto y se comprobara el funcionamiento de todos los componentes que configuran el sistema de control.

### 3.6.5. Recepción

#### 3.6.5.1. Recepción provisional

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

Una vez realizadas las pruebas funcionales con resultados satisfactorios, se procederá al acto de Recepción Provisional de la instalación por parte de la propiedad, con lo que se da por finalizado el montaje de la instalación.

El acto de recepción provisional quedara formalizado por un acta donde figuren todos los intervinientes y en la que se formalice la entrega conforme de la documentación referida. La documentación disponible y entregada debería ser, al menos, la siguiente:

- Una memoria descriptiva de la instalación, en la que se incluyen las bases de proyecto y los criterios adoptados para su desarrollo.
- Una copia reproducible de los planos definitivos, comprendiendo, como mínimo, los esquemas de principio de todas las instalaciones, los planos de sala De máquinas y los planos de plantas donde se debería indicar el recorrido de las conducciones y la situación de las unidades terminales.
- Una relación de todos los materiales y equipos empleados, indicando fabricante, marca, modelo y características de funcionamiento.
- Las hojas desopilativas de los resultados de las pruebas parciales y finales.
- Un manual de instrucciones de funcionamiento de los equipos principales de la instalación.

#### 3.6.5.2. Recepción definitiva

Desde el acta de recepción provisional, la propiedad podrá y deberá notificar cualquier incidencia en el funcionamiento de la instalación.

Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la Recepción Provisional se transformara en Recepción Definitiva. A partir de la Recepción Definitiva entrara en vigor la garantía.

### **3.7. Mantenimiento**

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

### **3.7.1. Vigilancia**

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos.

Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación.

Puede ser llevado a cabo por el usuario.

### **3.7.2. Mantenimiento preventivo**

El plan de mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento necesarias para que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

El mantenimiento preventivo implicara operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deberían permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento preventivo implicara, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con área de apertura de captación inferior a 20 m<sup>2</sup> y una revisión cada seis meses para instalaciones superiores a 20 m<sup>2</sup>.

En la siguiente hoja se definen las operaciones de mantenimiento preventivo que deben realizarse, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

### **3.7.3. Mantenimiento correctivo**

Las actividades de mantenimiento correctivo no pueden estar sometidas a un plan, dado el carácter impredecible de estas acciones. Como su propio nombre indica, las acciones de mantenimiento correctivo se realizaran para corregir anomalías observadas durante el funcionamiento normal de la instalación.

No obstante, si es posible llevar un control de las acciones de mantenimiento correctivo realizado, mediante el uso de un parte de mantenimiento correctivo. En este parte aparecerá recogido el componente afectado, la causa aparente del problema, la acción correctiva realizada, además de la fecha y la firma del responsable de dicha acción.

## 4. Presupuesto

#### 4.1. Sistema de captación

| Nº ord. | Concepto  | Medición | Precio/Ud (€) | Total (€)    |
|---------|---|----------|---------------|--------------|
| 1.1.    | <b>Ud. Captadores Solaria 2.4. AL de Fagor;</b><br>-Superficie: 2,4 m <sup>2</sup><br>-Dimensiones: 2,2x1,09x0,09 m<br>-Peso: 43 kg<br>-Rendimiento óptico: 72,96<br>-Coeficiente de pérdida: 2,51<br>-Presión máxima de trabajo: 8 bar | 24       | 717           | 17208        |
| 1.2.    | <b>Ud. Soporte superficie plana 45°</b>   | 4        | 775           | 3100         |
| 1.3.    | <b>Ud. Purgador de aire</b>   | 2        | 65            | 130          |
| 1.4.    | <b>Ud. Anticongelante 25 l</b>  | 4        | 105           | 420          |
|         | <b>TOTAL</b>  |          |               | <b>20858</b> |

#### 4.2. Sistema de acumulación

| Nº ord. | Concepto   | Medición | Precio/ Ud (€) | Total (€)    |
|---------|--|----------|----------------|--------------|
| 2.1.    | <b>Ud. Interacumulador Lapesa Master Inox con serpentín serie MXV-4000-SSB;</b><br>-Capacidad: 40000 l<br>-Peso: 665 kg<br>-Diámetro exterior: 1,91 m<br>-Altura: 2,31 m<br>-Aislamiento: PU rígido inyectado en molde (libre de CFC/HCFC) | 1        | 15885          | 15885        |
|         | <b>TOTAL</b>   |          |                | <b>15885</b> |

### 4.3. Sistema hidráulico

| Nº ord. | Concepto  | Medición | Precio/Ud (€) | Total (€)      |
|---------|---|----------|---------------|----------------|
| 3.1.    | <b>Ud. Bomba del circuito primario, Grundfos modelo Magna 32-60 N;</b><br>-Altura: 60 dm<br>-Potencia absorbida: 10-85 kW | 1        | 1317,20       | 1317,20        |
| 3.2.    | <b>Ud. Vaso de expansión, 8 AMR Y;</b><br>-Capacidad: 8 l<br>-Presión máxima: 10 bar                                      | 1        | 26,89         | 26,89          |
| 3.3.    | <b>m de tuberías de cobre 28x1 mm</b>   | 29,15    | 7,02          | 204,63         |
| 3.4.    | <b>m de tuberías de cobre 35x1 mm</b>   | 112,95   | 11,29         | 1275,2         |
| 3.5.    | <b>m de aislamiento de tuberías de cobre 28 mm;</b><br>con 40 mm de espesor   | 29,15    | 14,98         | 436,67         |
| 3.6.    | <b>m de aislamiento de tuberías de cobre 35 mm;</b><br>con 40 mm de espesor   | 112,95   | 16,44         | 1856,9         |
| 3.7.    | <b>Ud. Codo 90° de cobre 35x35</b>  | 2        | 12,55         | 25,1           |
| 3.8.    | <b>Ud. Unión en T de cobre 35 mm</b>  | 1        | 5,90          | 5,90           |
| 3.9.    | <b>Ud. Válvula de compuerta 28 mm</b>   | 1        | 11,42         | 11,42          |
| 3.10.   | <b>Ud. Válvula de retención de 28 mm</b>  | 2        | 38,65         | 77,3           |
|         | <b>TOTAL</b>  |          |               | <b>5237,21</b> |

### 4.4. Sistema de control

| Nº ord. | Concepto   | Medición | Precio/Ud (€) | Total (€)       |
|---------|--|----------|---------------|-----------------|
| 4.1.    | <b>Ud. Termómetro;</b><br>con escala de 0 a 120°             | 5        | 23,97         | 119,85          |
| 4.2.    | <b>Ud. Manómetro;</b><br>de 40 mm y con escala de 0 a 12 bar | 5        | 3,60          | 18              |
| 4.3.    | <b>Ud. Centralita Viessmann Vitosolic 200;</b>               | 1        | 17893         | 17893           |
|         | <b>TOTAL</b>   |          |               | <b>18030,85</b> |

## Presupuesto total:

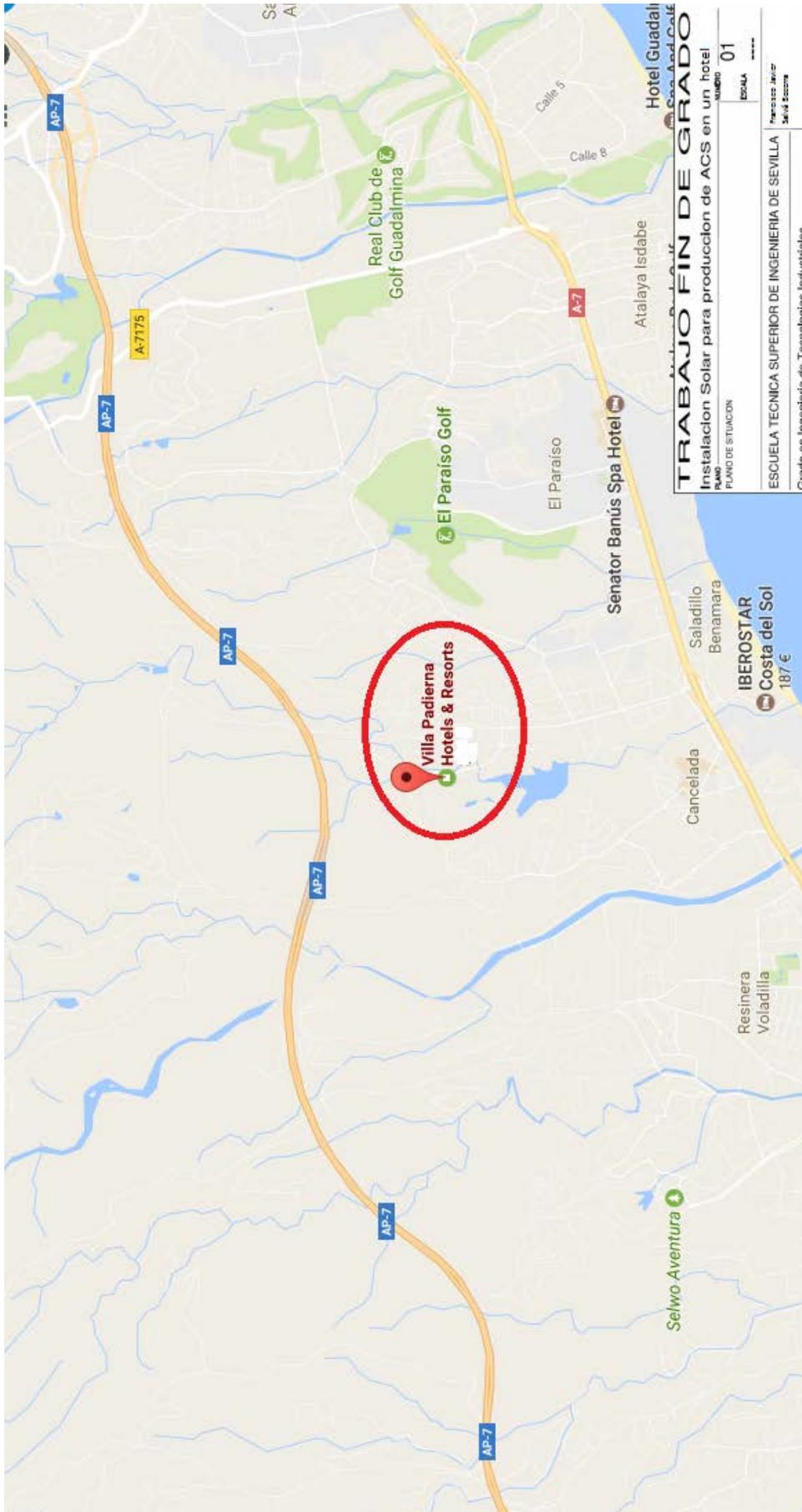
|  |                         |
|--|-------------------------|
| - Sistema de captación:                      | 20858 €                 |
| - Sistema de acumulación:                    | 15885 €                 |
| - Sistema de intercambio Sistema hidráulico: | 5237,21 €               |
| - Sistema de control:                        | 18030,85 €              |
| - Ratio €/m <sup>2</sup> :                   | 1394,7 €/m <sup>2</sup> |

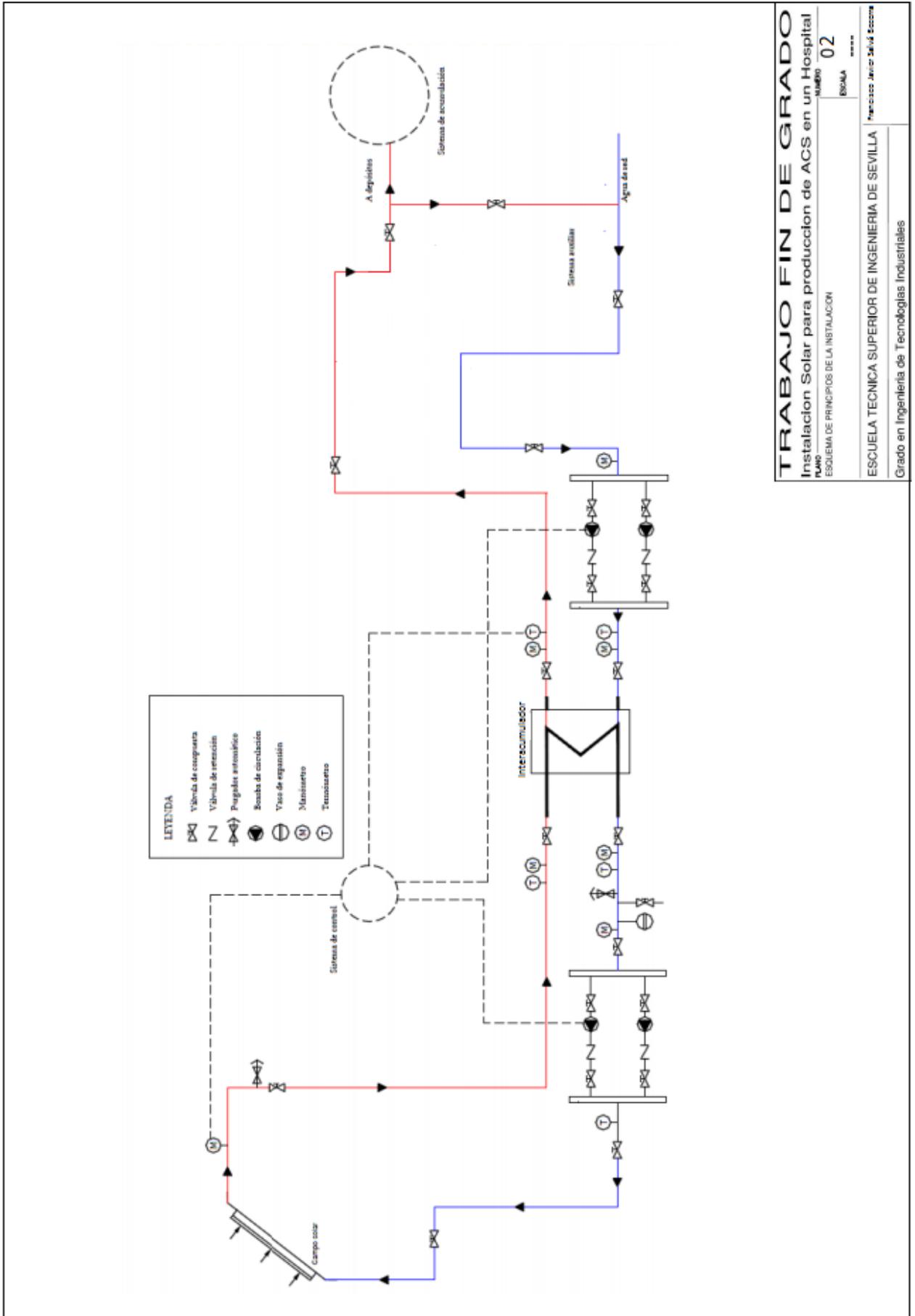
**Presupuesto total sin aplicar IVA: 60011,06 €**

**IVA (21 %): 12602,32 €**

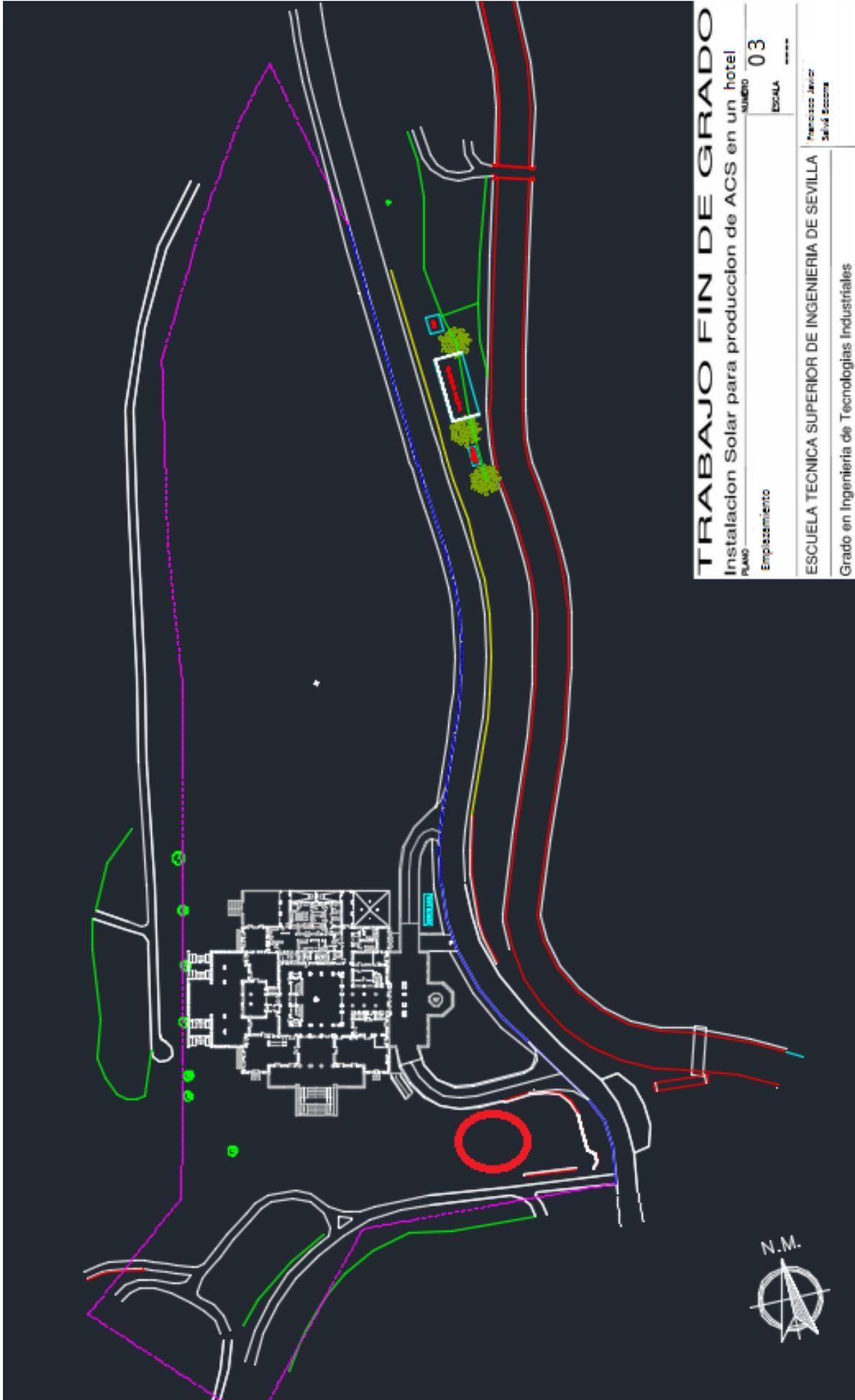
**Presupuesto total: 72613,38 €**

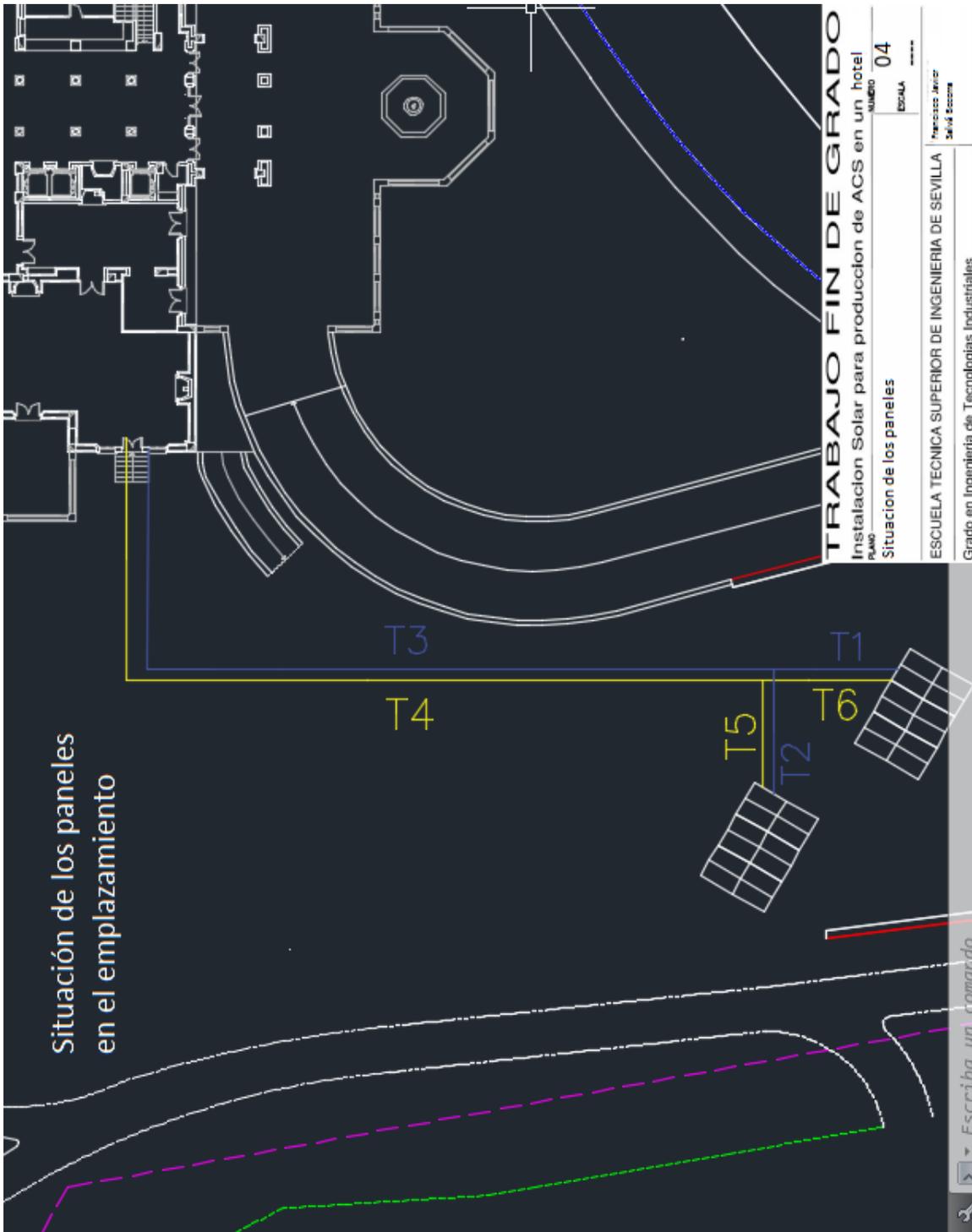
## 5. Planos

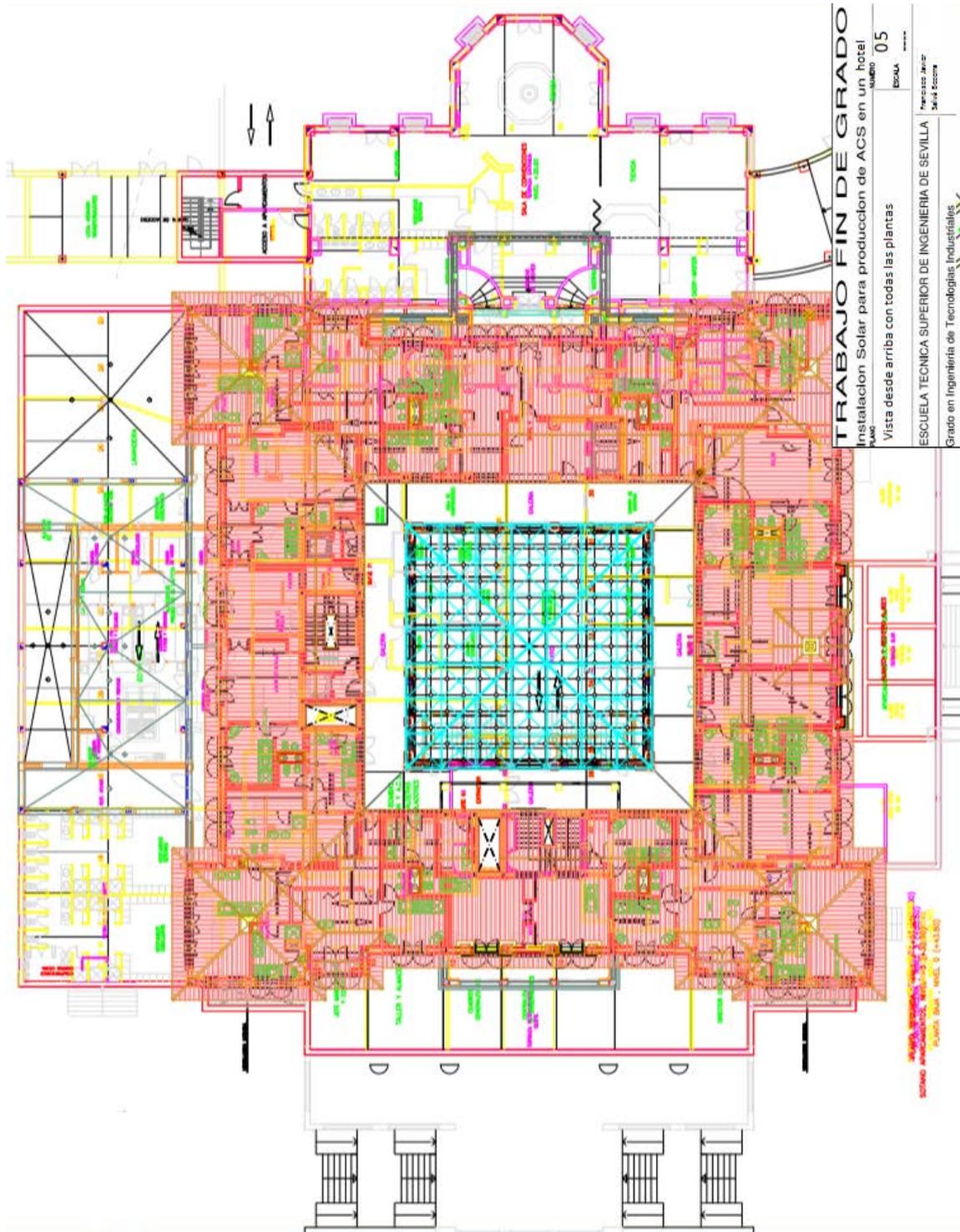


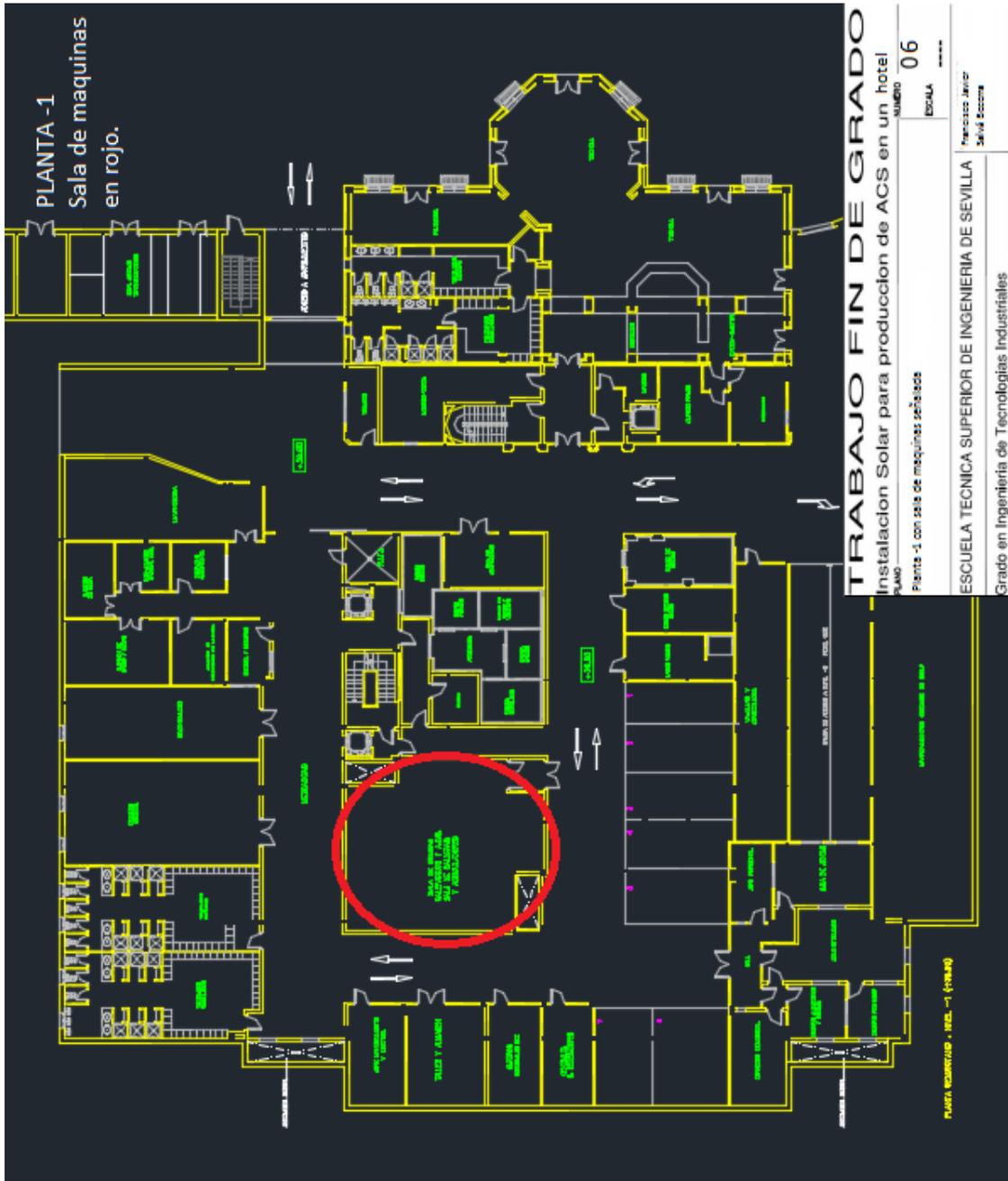


**TRABAJO FIN DE GRADO**  
 Instalación Solar para producción de ACS en un Hospital  
 PLANO NÚMERO 02  
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE SEVILLA  
 Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales









## **6. ANEXOS**

**ANEXO 1: Gráficas para el cálculo de propiedades de la mezcla agua-propilenglicol.**

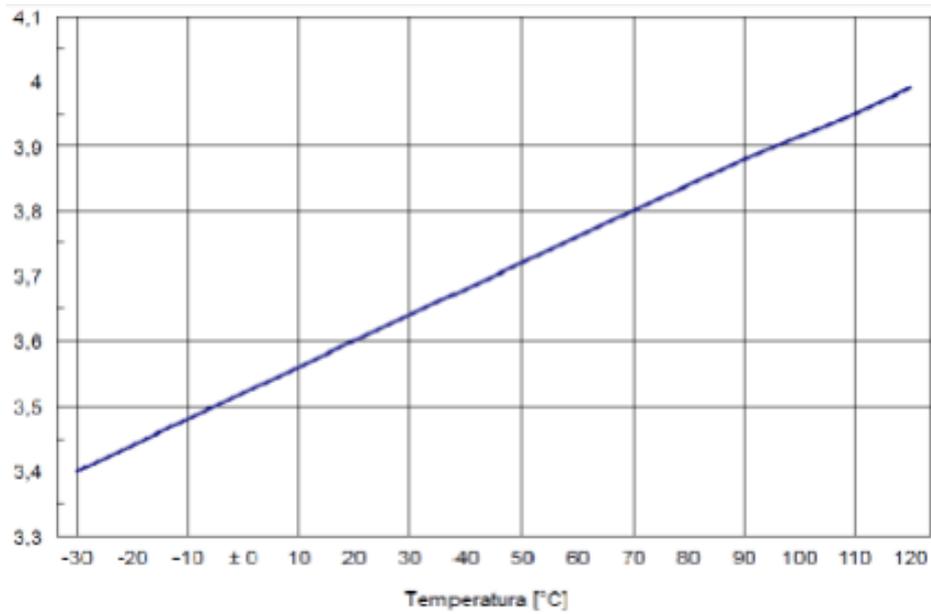


Ilustración 21: Cálculo del calor específico de la mezcla con la temperatura.

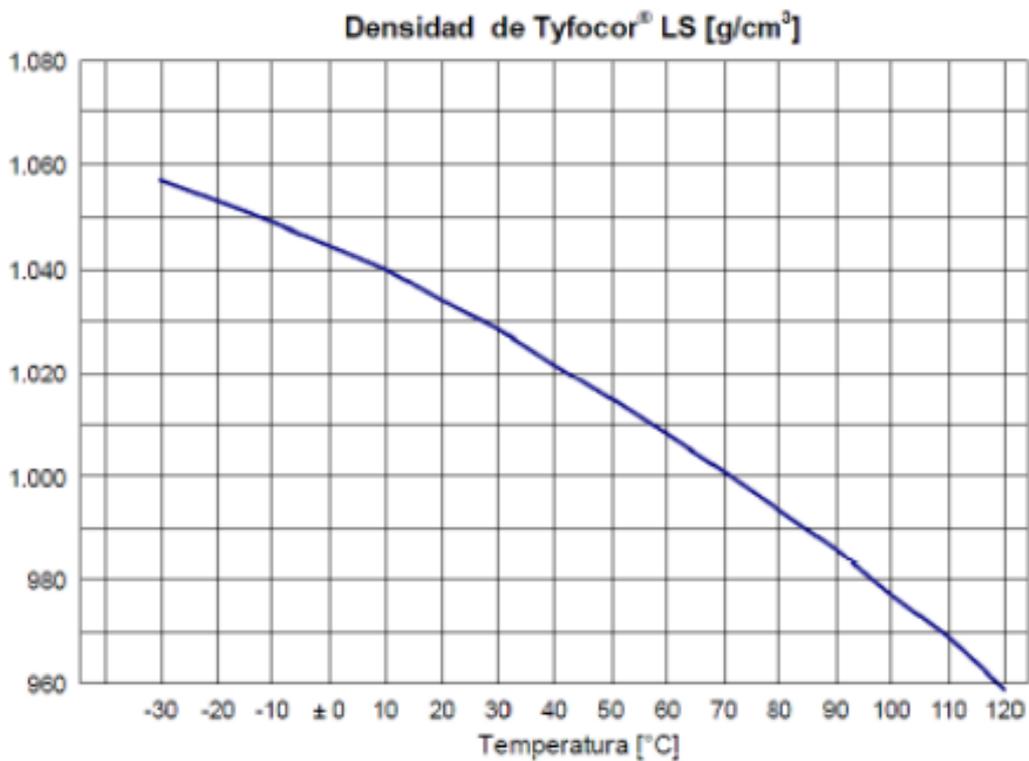


Ilustración 22: Cálculo de la densidad de la mezcla con la temperatura.

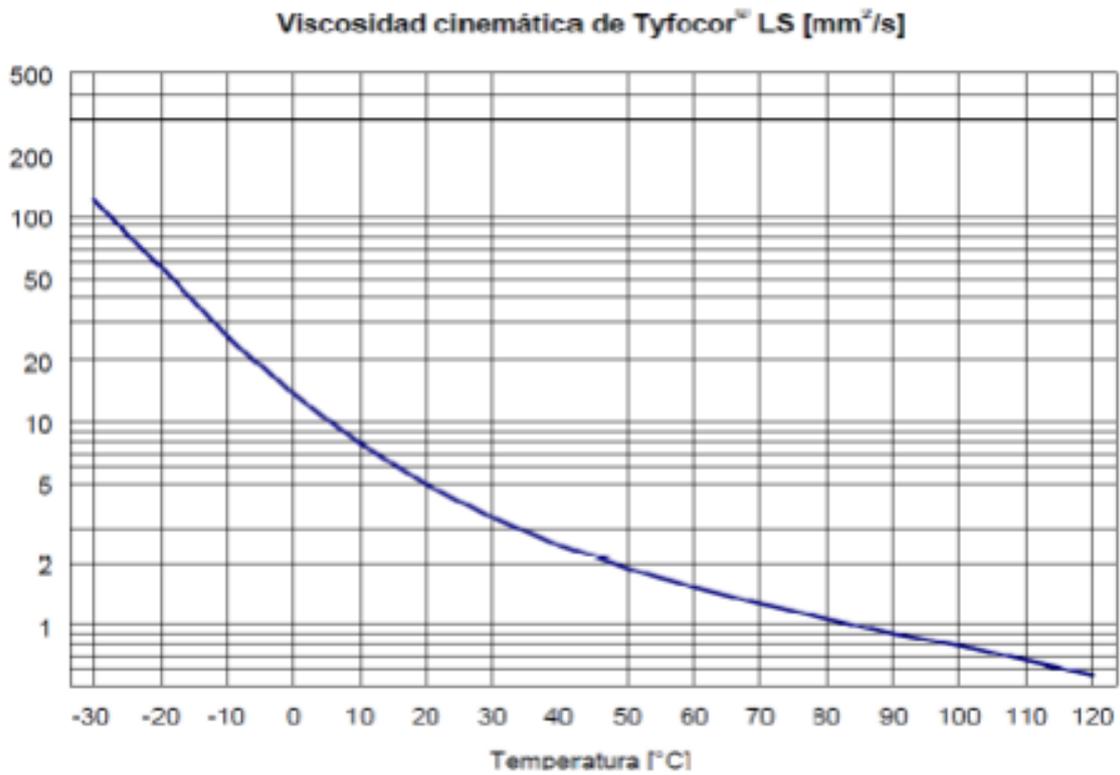


Ilustración 23: Cálculo de la viscosidad cinemática de la mezcla con la temperatura.

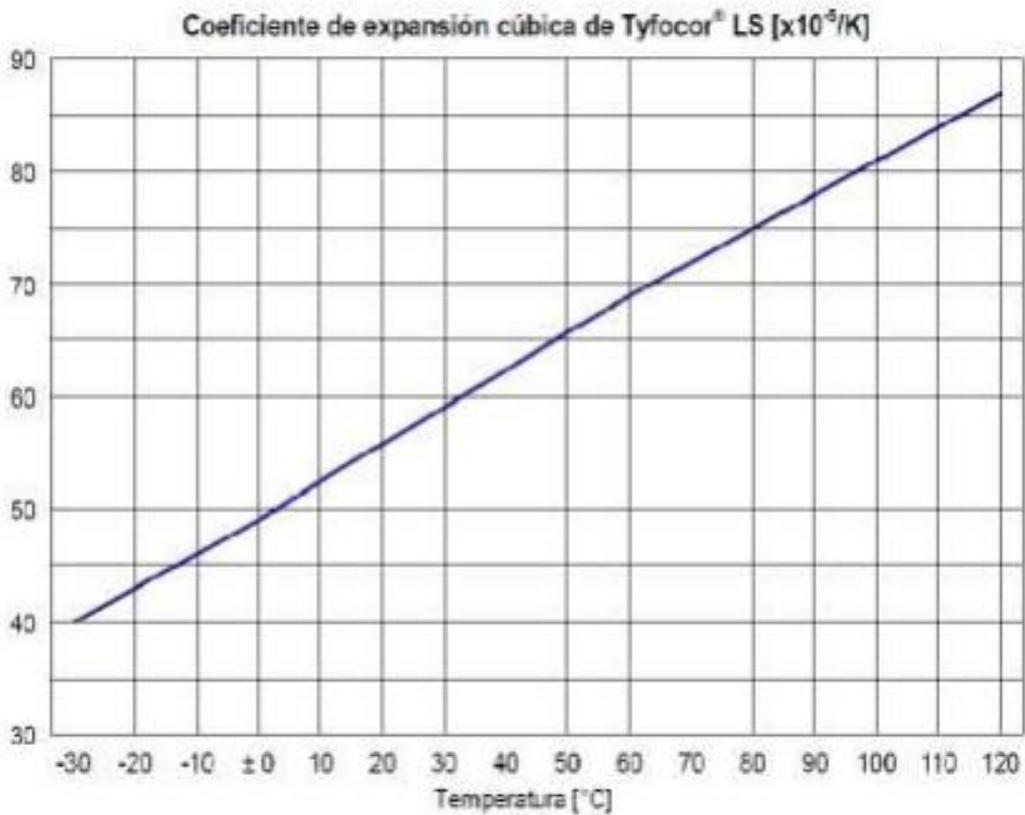


Ilustración 24: Cálculo del coeficiente de expansión cúbica de Tyfocor.

