



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

# **CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA POR ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL.**

Autor: Isabel Jurado Mallo

Director: Luis Javier Mata García

Madrid

Julio 2018



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### **1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.**

El autor D<sup>a</sup> Isabel Jurado Mallo DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “Climatización y producción de agua caliente sanitaria por energía solar térmica”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2º. Objeto y fines de la cesión.**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### **3º. Condiciones de la cesión y acceso**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### **4º. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

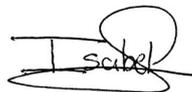
**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 19 de julio de 2018

**ACEPTA**



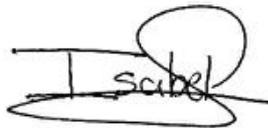
Fdo. Jurado Mallo, Isabel

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título “Climatización y producción de agua caliente sanitaria por energía solar térmica” en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2017-2018 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Isabel Jurado Mallo

Fecha: 11/07/ 2018



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Luis Javier Mata Fecha: 18/07 / 2018

MATA GARCIA LUIS JAVIER - 09793455D

Firmado digitalmente por MATA  
GARCIA LUIS JAVIER - 09793455D  
Fecha: 2018.07.18 20:59:08 +02'00'





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

# **CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA POR ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL.**

Autor: Isabel Jurado Mallo

Director: Luis Javier Mata García

Madrid

Julio 2018



# CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA POR ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL.

**Autor: Jurado Mallo, Isabel**

Director: Mata García, Luis Javier

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia de Comillas

## **INTRODUCCIÓN:**

El presente proyecto persigue demostrar que el uso complementario de energías renovables en la climatización industrial permitiría un importante ahorro energético, optimizando la rentabilidad de la empresa y mejorando, por tanto, su cuenta de resultados. El proyecto tomará como punto de partida una nave industrial climatizada de manera convencional, y consistirá en la creación de una solución complementaria para optimizar el funcionamiento de la instalación y, consecuentemente, minimizar el coste de climatización.

En cuanto al funcionamiento de la instalación actual, se sabe que el momento de mayor consumo eléctrico, y por tanto de mayor impacto económico, es el arranque. En este proyecto se diseñará un sistema de energía alternativo que tendrá una función precalentadora para realizar el aporte inicial de energía de modo que, una vez arrancado el sistema, el proceso de climatización pueda continuar con la energía aportada por la caldera mediante el sistema convencional. No se pretende proponer, por tanto, un sistema de climatización sustitutivo sino complementario al actual. Para realizar este aporte de energía inicial recurriremos a fuentes de energía renovables.

El objetivo de este proyecto consiste en la creación de una solución alternativa de apoyo al sistema de climatización y producción de ACS de una instalación industrial actual, basándose en el empleo de energías renovables que permitan la consecución de los siguientes beneficios:

- **Beneficio Económico:**

En este proyecto se optimizará la producción de agua caliente que tiene lugar en las calderas de a.c.s y calefacción, buscando minimizar su necesidad de uso, esta reducción en el uso supondrá un ahorro en el consumo de gas natural tan grande como el porcentaje de energía ahorrado sea.

- **Beneficios Ambientales:**

El presente proyecto persigue la reducción en el consumo de gas natural, lo que permitirá la reducción de los contaminantes producidos por el mismo, los cuales son directamente proporcionales a la cantidad de combustible consumido en la climatización de la instalación industrial objeto del proyecto.

## METODOLOGÍA:

La instalación principal que se propone en este proyecto es la instalación solar, realizando además un estudio complementario secundario de la posible incorporación de un sistema de energía geotérmica para un mayor aporte energético.

En primer lugar, se ha realizado el estudio y cálculo de la instalación solar, siguiendo el criterio del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura de la IDAE. Mediante el cual se ha calculado el área de captación solar y volumen de acumulación necesaria para una aportación solar de entorno al 30% de la energía demandada por la calefacción y producción de a.c.s.

Los resultados obtenidos determinan la necesidad de instalar 54 paneles solares con un volumen de acumulación de 8.000 litros, consiguiendo un ahorro solar del 36,7% de la energía demandada anualmente, con el desarrollo mensual mostrado en el siguiente gráfico:



A continuación, se ha realizado el cálculo de la instalación geotérmica para diferentes bombas de calor geotérmico de distintas potencias. Se ha realizado un cálculo del porcentaje ahorrado y una longitud de captación, es en este cálculo donde encontramos la limitación de nuestra nave industriales ya que dispone de cuatro perforaciones de 100 metros para introducir las sondas a las que tenemos que limitar el cálculo.

Finalmente, la única bomba geotérmica capaz de cumplir con las limitaciones es una bomba de 5,9 kW con captación mediante sonda de doble U. Que permite un ahorro anual del 11,4% de la demanda, con el desarrollo mensual mostrado en el siguiente diagrama:

## NECESIDADES Y AHORROS



Por último, se ha realizado un estudio de la viabilidad económica de las siguientes alternativas de aportación de energía:

- Aportación mediante energía solar térmica
- Aportación mediante energía geotérmica
- Aportación mediante energía solar térmica complementada con energía geotérmica.

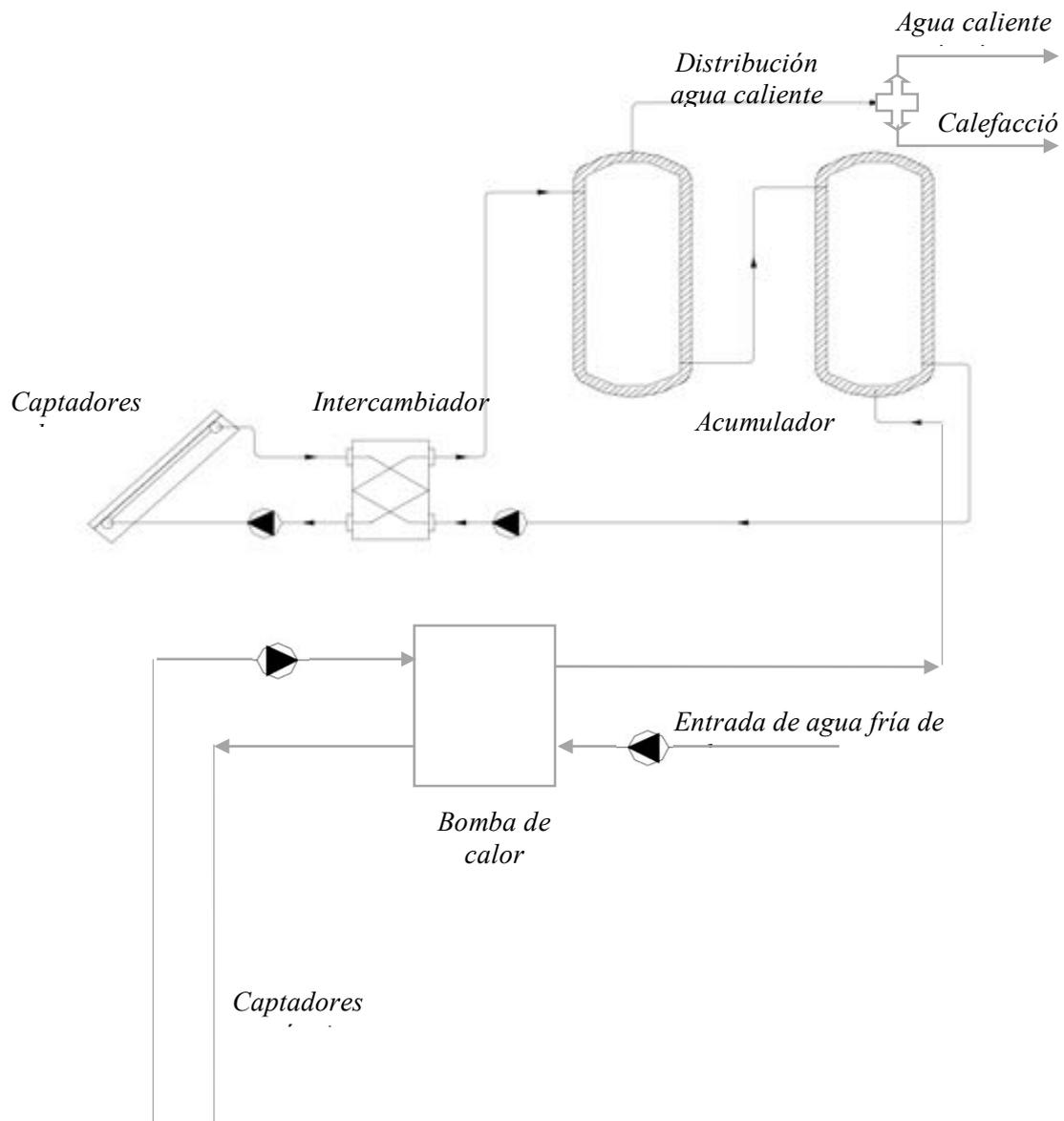
Para poder realizar una decisión sobre el sistema que se instalará en la nave industrial es necesario realizar un estudio independiente para cada instalación. Los resultados económicos a los que se ha llegado, incluyendo la inversión inicial y los costes anuales, así como el ahorro que supone cada una de las instalaciones son los siguientes:

Instalación	Inversión inicial	Gasto anual	Tiempo de amortización	Ahorro tras amortización anual
Solar térmica	35.211 €	785 €	8 años	4.586,62 €
Geotérmica	12.322 €	257 €	6 años	2.327,2 €
Solar térmica + geotérmica	47.533 €	897 €	7 años	7.098,82 €

## CONCLUSIONES:

Los resultados del trabajo realizado resultan muy satisfactorios especialmente para la instalación conjunta de captación solar térmica con suplemento de captación geotérmica, suponiendo un ahorro anual de 7.098,82 € tras la amortización, con un tiempo de amortización de tan solo siete años. Esta instalación permitirá al dueño de la nave industrial ahorrar un 48% del consumo anual de gas natural actual.

Por tanto, el sistema elegido para el ahorro de energía buscado será una instalación solar térmica con precalentamiento de agua por medio de energía geotérmica.



# HEATING AND HOT WATER PRODUCTION OF AN INDUSTRIAL WAREHOUSE THROUGHOUT THE USE OF THERMAL SOLAR ENERGY.

**Author: Jurado Mallo, Isabel**

Directors: Mata García, Luis Javier

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia de Comillas

## **INTRODUCTION:**

The present project seeks to demonstrate that the complementary use of renewable energies in industrial air conditioning would allow an important energy saving, optimizing the profitability of the company and improving, therefore, its profit and loss account. The project will take as a starting point a conventionally heated industrial warehouse, and will consist of the creation of a complementary solution to optimize the operation of the installation and, consequently, minimize the cost of air conditioning.

With regards to the current installation, the moment of greater electrical consumption, and therefore of greater economic impact, is the start of the system. This project will design an alternative energy system that will have a pre-heating function to make an initial contribution of energy so that, once the system has been started, the air conditioning process can continue with the energy provided by the boiler throughout the conventional system. This project does not intend to design a replacement for the actual air conditioning system, rather a complementary system to it.

To produce this energy contribution we will use renewable energy sources.

The objective of this project is the creation of an alternative solution to support the HVAC system and the production of hot water of a current industrial facility, based on the use of renewable energies that allow achieving the following benefits:

- **Economic Benefit:**

This project will optimize the production of hot water that takes place in natural gas boilers destined to the production of sanitary hot water and heating, seeking to minimize their need in the use of the boilers. This reduced usage will produce savings in natural gas consumption as large as the percentage of energy saved by the complementary system.

- **Environmental Benefits:**

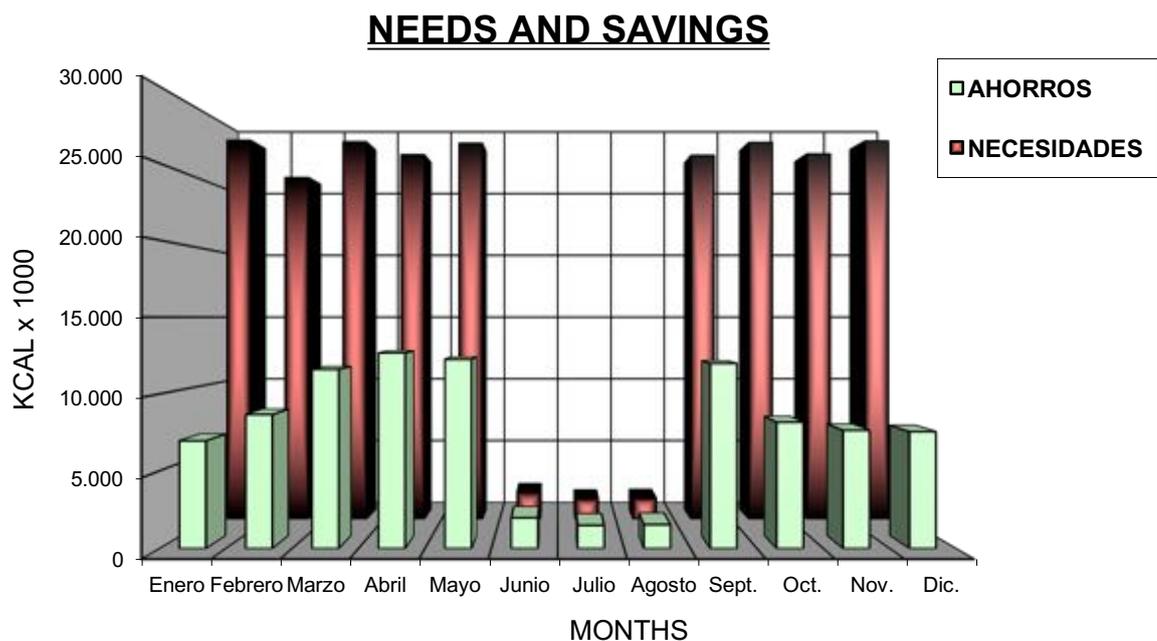
The present project pursues the reduction in the consumption of natural gas, which will allow a reduction in the pollutants produced by it. These are directly proportional to the amount of fuel consumed in the heating of water in the industrial warehouse being studied.

## METHODOLOGY:

The main system proposed in this project is the thermal solar system. Additionally, a secondary study of the possible incorporation of a geothermal energy system for a greater energy contribution is considered.

In the first place, the study and calculation of the solar system has been carried out, following the criteria of the Specifications of Technical Conditions of Low Temperature Installations written by IDAE. By means of which the calculations of the solar heat collecting area and hot water accumulation volume necessary for a solar contribution of around 30% of the energy demanded by the heating and production of hot water have been done.

The results obtained demonstrate the need to install 54 solar panels with a water accumulation volume of 8,000 liters, achieving a solar energy saving of 36.7% of the annual energy demand, with the monthly development shown in the following graph:



Following the study of the solar system, the calculation of the geothermal installation for different geothermal heat pumps of different powers has been carried out. Throughout the calculations we have been able to determine the percentage of energy saved monthly and annually as well as the length needed for the heat exchangers. It is in this calculation where we find the limitation of the system we want to install since our warehouse has four 100-meter perforations that had been previously done to introduce the heat exchangers.

Finally, the only geothermal pump capable of complying with the limitations is a 5.9 kW pump with three double U shape heat exchangers. This allows an annual saving of

11.4% of the energy demanded, with the monthly development shown in the following diagram:



Finally, a study of the economic feasibility has been done for the following alternatives of energy:

- Contribution by solar thermal energy
- Contribution by geothermal energy
- Contribution by solar thermal energy complemented by geothermal energy.

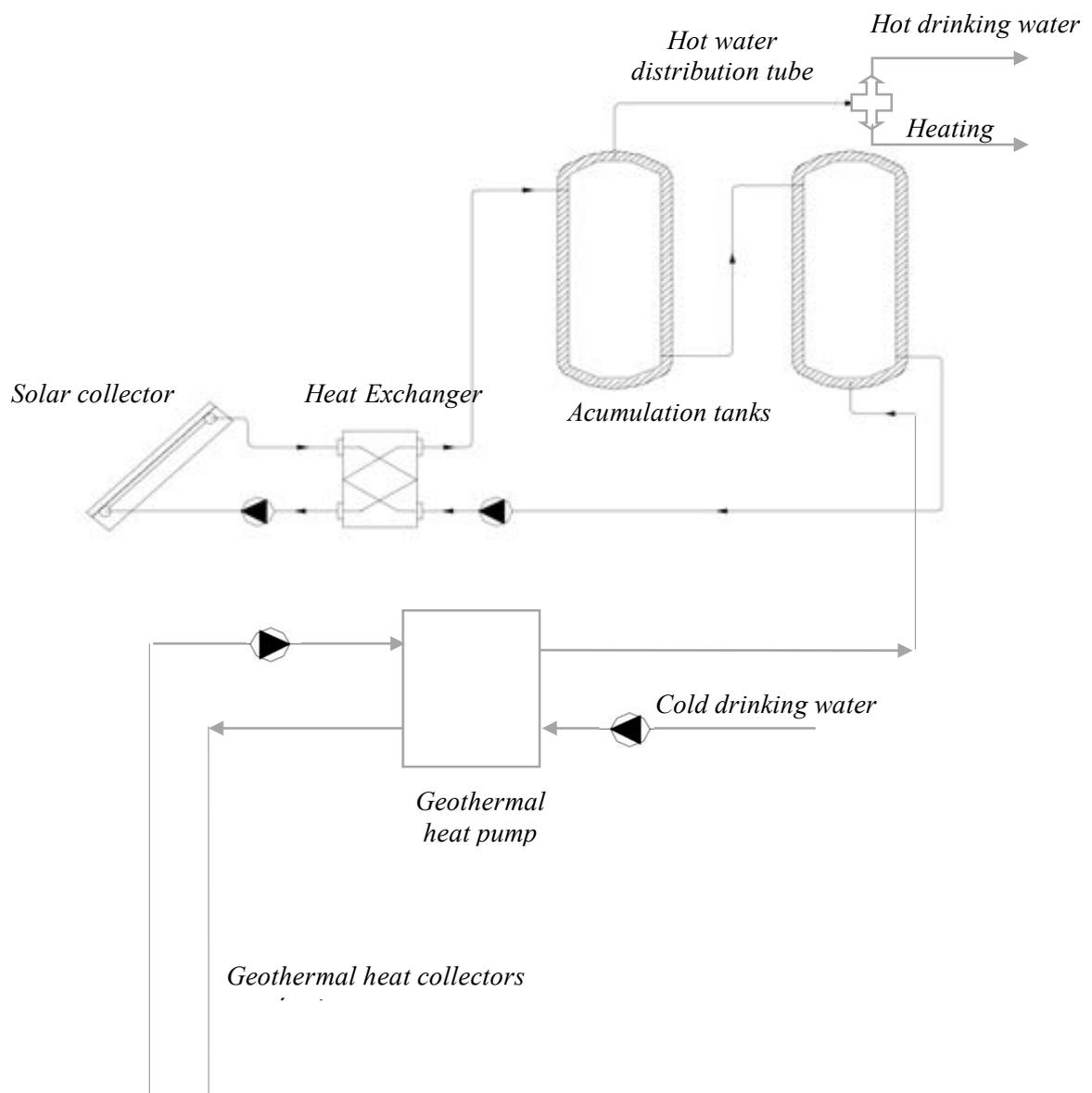
To be able to conclude on a decision about the system that will be installed in the industrial warehouse it is necessary to do a cost/price study of each system. The economic results that have been reached, including the initial investment and annual costs, as well as the savings that each of the systems entails are the following:

System	Initial Investment	Annual cost	Amortization time	Saving after amortization
Thermal solar	35.211 €	785 €	8 years	4.586,62 €
Geothermal	12.322 €	257 €	6 years	2.327,2 €
Thermal solar + geothermal	47.533 €	897 €	7 years	7.098,82 €

## CONCLUSIONS:

The results of the work carried out are very satisfactory especially for the installation of both the solar thermal energy system and the geothermal system. Annual savings of € 7,098.82 are achieved after amortization, with a repayment time of only seven years. This system will allow the owner of the industrial warehouse to save 48% of the current annual natural gas consumption.

Therefore, the system chosen for saving the required energy will be a solar thermal installation with preheating of water by means of geothermal energy.



# Índice

1.	Introducción.....	7
2.	Objetivos del Proyecto .....	9
2.1.	objetivos de la energía solar para producción de agua caliente sanitaria. ....	11
3.	Alternativas existentes y solución adoptada .....	12
3.1	Climatización.....	12
3.1.1	Sistemas de climatización .....	15
3.1.2	Mejora de la eficiencia energética .....	18
3.2	Producción de a.c.s .....	19
3.2.1	Tipos de sistemas de producción de a.c.s: .....	20
3.3	Solución adoptada: energía solar y geotermia .....	22
4.	Descripción del proyecto .....	25
4.1	Emplazamiento.....	25
4.2.	Sistema actual de climatización:.....	27
4.3.	Sistema actual de producción de agua caliente sanitaria: .....	29
4.4.	Principio de funcionamiento .....	30
4.4.1.	Tecnología de la energía solar térmica.....	30
4.4.2.	Tecnología de la energía geotérmica .....	33
5.	Instalación solar .....	37
5.1	Descripción de la instalación solar .....	37
5.2	Consideraciones de una instalación solar .....	38
5.2.1.	Capacidad de producción de la instalación solar .....	38
5.2.2.	Pérdidas por orientación e inclinación.....	38
5.2.3.	Pérdidas por sombra .....	40
5.2.4.	Distancia mínima entre filas.....	40
5.3	Cálculos .....	41
5.3.1	Método Fchart para producción de a.c.s:.....	41
5.3.2	Método Fchart para producción de calefacción:.....	43
5.3.3.	Sistema conjunto de producción de a.c.s y calefacción:.....	43
5.4.	Estructura para soporte y anclaje.....	44
5.5	Diseño del circuito hidráulico y características de los componentes .....	47
5.5.1	Fluido caloportador:.....	48
5.5.2	Tuberías del circuito primario:.....	49
5.5.3	Bomba de circulación circuito primario:.....	51
5.5.4	Intercambiador de calor: .....	53
5.5.5	Fluido del circuito secundario: .....	54
5.5.6	Tuberías del circuito secundario:.....	54
5.5.7	Bombas del circuito secundario: .....	55
5.5.6	Acumulador:.....	55
5.5.6	Purgadores y desaireadores: .....	56
5.5.7	Depósito de expansión: .....	57
5.5.8	Aislamiento:.....	58
5.5.9	Regulación y control de la instalación: .....	59
6.	Instalación geotérmica .....	61
6.1	Descripción de la instalación .....	61

6.2 Propiedades térmicas del terreno: .....	62
6.3 Cálculos: .....	66
6.3.1 Cálculo de ahorro energético: .....	66
6.3.2 Dimensionado de la instalación de calor: .....	68
6.3.3 Rendimiento de la instalación COP .....	70
6.4 Elementos de la instalación y diseño del circuito hidráulico .....	71
6.4.1 Bomba de calor: .....	71
6.4.2 Fluido caloportador: .....	72
6.4.3 Tuberías: .....	72
6.4.4 Bombas de circulación: .....	77
7. Estudio de viabilidad económica .....	79
7.1 Estudio económico de la instalación solar: .....	79
7.2 Estudio económico de la instalación geotérmica: .....	81
7.3 Estudio económico de la instalación conjunta solar y geotérmica: .....	83
8. Estudio de las emisiones de CO2 .....	87
8.1 Estudio de las emisiones de CO2 en la instalación solar: .....	87
8.2 Estudio de las emisiones de CO2 en la instalación geotérmica: .....	88
8.3 Estudio de las emisiones de CO2 en la instalación solar y geotérmica: .....	88
9. Conclusión.....	91
ANEXOS.....	93
ANEXO I: Cálculo del coeficiente de transmisión de calor .....	95
ANEXO II: Cálculo de cargas térmicas .....	99
ANEXO III: Cálculos mediante el método FChart.....	105
ANEXO IV: Fichas técnicas.....	111
ANEXO V: Planos .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ANEXO VI: Bibliografía .....	127
ANEXO VII: Especificaciones técnicas .....	131

## Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de predicción de porcentaje de satisfacción según vestimenta y actividad. Fuente: Presentación de la asignatura de climatización, Icai. ....	12
Figura 2. Sistema todo aire de volumen de aire constante. Fuente: Presentación de la asignatura de climatización, Icai. ....	16
Figura 3. Esquema de un sistema aire – agua. Fuente: Presentación de la asignatura de climatización, Icai. ....	17
Figura 4. Esquema de un sistema todo agua. Fuente: Presentación de la asignatura de climatización, Icai. ....	18
Figura 5. Calentamiento instantáneo por medio de gas. fuente: <a href="http://www.takagi.com/why-tankless">www.takagi.com/why-tankless</a> . ....	21
Figura 6. Calentamiento de agua mediante energía solar con acumulación. fuente: <a href="http://www.abakan-teach.ru/placas-solares-agua-sanitaria-funcionamiento/">www.abakan-teach.ru/placas-solares-agua-sanitaria-funcionamiento/</a> . ....	22
Figura 7. Esquema completo de la instalación. ....	24
Figura 8. Nave Industrial en 3d. ....	27
Figura 9. Sistema de climatización de la nave industrial en 3D. ....	29
Figura 10. Esquema del sistema de energía solar térmica. fuente: <a href="http://www.ekidom.com/funcionamiento-de-la-energia-solar-termica">www.ekidom.com/funcionamiento-de-la-energia-solar-termica</a> . ....	31
Figura 11. Captador solar plano. fuente: <a href="http://www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html">www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html</a> . ....	31
Figura 12. Captador solar de tubo de vacío. fuente: <a href="http://www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html">www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html</a> . ....	32
Figura 13. Funcionamiento del sistema de bomba geotérmica en invierno y verano. Fuente: <a href="http://www.certificadosenergeticos.com">www.certificadosenergeticos.com</a> . ....	33
Figura 14. Sistema de captación geotérmico horizontal. fuente: <a href="http://www.cymper.com">www.cymper.com</a> . ....	34
Figura 15. Sistema de captación geotérmica vertical. fuente: <a href="http://www.cymper.com">www.cymper.com</a> . ....	34
Figura 16. Sistema de captación geotérmica abierta. fuente: <a href="http://www.cymper.com">www.cymper.com</a> . ....	35
Figura 17. Esquema del funcionamiento de una bomba de calor. fuente: eficiencia energética, geotermia – suelo radiante. asetub. ....	36
Figura 18. Sistema de captación solar con intercambiador exterior y doble depósito de acumulación. fuente: guía de instalaciones de baja temperatura, IDAE. ....	37
Figura 19. Angulo de azimut del captador para una latitud de 41°. fuente: guía de instalaciones de baja temperatura, IDAE. ....	40
Figura 20. Esquema de distancias d y h para el cálculo de la distancia mínima entre filas. fuente: guía de instalaciones de baja temperatura, IDAE. ....	41
Figura 21. Vista superior nave con la distribución de baterías de captadores. ....	44
Figura 22. Nave industrial 3D con nueve baterías de captadores. ....	44
Figura 23. Viento medio anual a 30 m de altura. fuente: código técnico de la edificación, comunidad de madrid. ....	45
Figura 24. Soporte paneles en 3D y vista lateral. fuente: instrucciones de montaje vhm 2.1, captador solar cointra ícaro. ....	46
Figura 25. Medidas del soporte de los paneles. fuente: instrucciones de montaje vhm 2.1, captador solar cointra ícaro. ....	46
Figura 26. Distribución de paneles sobre soportes. fuente: instrucciones de montaje vhm 2.1, captador solar cointra ícaro. ....	47
Figura 27. elementos necesarios para soporte. fuente: instrucciones de montaje vhm 2.1, captador solar cointra ícaro. ....	47

Figura 28. Conexión de captadores en paralelo. fuente: guía de instalaciones de baja temperatura, IDAE. ....	48
Figura 29. Red de tuberías desde la vista superior de la nave. ....	49
Figura 30. DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE CARGA EN TUBOS DE COBRE PARA UNA TEMPERATURA DEL FLUIDO DE 45°. fuente: la elección profesional, centro español de información del cobre (cedic) .....	50
Figura 31. Bomba de circulación modelo UPS 32-8160 F. fuente: grundfos.....	52
Figura 32. Intercambiador de placas compacto Lapesa. fuente: lapesa.....	54
Figura 33. Bomba de circulación modelo MAGNA1 65-150 F. fuente: grundfos.....	55
Figura 34. Vaso de expansión modelo 35 SMR-P. fuente: ibaiondo.....	58
Figura 35. Central Solar Termix Plus. cointra. ....	59
Figura 36. Esquema de una instalación geotérmica por medio de bomba de calor. fuente: rehau.....	61
Figura 37. Gráfico realizado con Excel de la temperatura del subsuelo según la profundidad en Robledo de Chavela.....	63
Figura 38. Mapa del terreno español. Fuente: mapa realizado por Joaquín Murcia López .....	65
Figura 39. Bomba de calor geotérmica FlexoTHERM. fuente: vaillant.....	71
Figura 40. Diagrama de pérdida de carga en tubos HDPE PE100. fuente: hazen-williams .....	74
Figura 41. Diagrama de pérdida de carga en tubos de cobre para una temperatura del fluido de 45°, conductos de geotermia. fuente: la elección profesional, centro español de información del cobre (cedic) .....	76
Figura 42. Bomba de circulación modelo ALPHA2 15-80 130. fuente: grundfos .....	77
Figura 43. Bomba de circulación modelo ALPHA2 15-50 130. fuente: grundfos .....	78
Figura 44. Gráfico del coste y ahorro económico en gas natural anual según tipo de instalación. ....	85
Figura 45. Diagrama de las emisiones de CO2 emitidas anualmente en kg según tipo de instalación elegido. ....	89

## Índice de Tablas

Tabla 1. Resistencia térmica en clo según tipo de vestimenta. Fuente: Presentación de la asignatura de climatización, Icai.....	13
Tabla 2. Resistencia térmica en clo según tipo de vestimenta. Fuente: Presentación de la asignatura de climatización, Icai.....	13
Tabla 3. Disposiciones mínimas sobre el bienestar térmico en la legislación de prevención de riesgos laborales. Fuente: evaluación del bienestar térmico en locales de trabajo cerrados, instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo.....	14
Tabla 4. Ventajas e inconvenientes de los sistemas todo aire. Fuente: asignatura de climatización, icai. ....	15
Tabla 5. Sistemas de climatización todo aire. Fuente: asignatura de climatización, icai. ....	15
Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de los sistemas aire – agua. Fuente: asignatura de climatización, icai. ....	16
Tabla 7. Ventajas e inconvenientes de los sistemas todo agua. Fuente: asignatura de climatización, icai. ....	17
Tabla 8. Datos de estaciones meteorológicas para Robledo de Chavela, Madrid. Fuente: guía técnica de condiciones climáticas exteriores, idae. ....	28
Tabla 9. Consumo diario de ACS a 60°C. fuente: Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central, idae.....	30
Tabla 10. Pérdidas o i y s permitidas. fuente: guía de instalaciones de baja temperatura, IDAE.....	39
Tabla 11. Punto de congelación de propilenglicol a diferentes concentraciones. fuente: <a href="http://www.senigrup.blogspot.com/2008/10/tabla-congelacin-propilenglicol.html">www.senigrup.blogspot.com/2008/10/tabla-congelacin-propilenglicol.html</a> .....	48
Tabla 12. Pérdida de carga media por captador para diferentes caudales. fuente: catálogo vhm 2.1, captador solar cointra ícaro. ....	49
Tabla 13. Factor de corrección para temperatura distinta de 45°. fuente: la elección profesional, centro español de información del cobre (cedic).....	50
Tabla 14. Cálculo de tuberías circuito primario de la instalación solar.....	51
Tabla 15. Cálculo de tuberías del circuito secundario de la instalación solar.....	54
Tabla 16. Volumen de fluido en el circuito primario solar para el cálculo de vaso de expansión. ....	57
Tabla 17. Conductividad térmica según tipo de roca del suelo. fuente: guía técnica de diseño de instalaciones geotérmicas de circuito cerrado, idae.....	64
Tabla 18. Resultados del estudio de ahorro energético.....	67
Tabla 19. Resultado del análisis de longitud de sonda.....	70
Tabla 20. Características termofísicas del agua glicolada 30%. fuente: características del líquido de refrigeración, guasch.....	72
Tabla 21. Cálculo de los tubos de captación geotérmica.....	74
Tabla 22. Cálculo de tuberías del circuito geotérmico secundario.....	76
Tabla 23. Coste equipos instalación solar.....	79
Tabla 24. Coste equipos instalación geotérmica.....	81



## 1. Introducción

Los avances en el desarrollo de los sistemas de energía renovables han experimentado una importante evolución y crecimiento en los últimos años. La necesidad de buscar medios de energía que sean inagotables es de gran importancia ya que las expectativas de duración de las fuentes de energía actuales, no renovables, son cada vez más pesimistas. A nivel mundial, existe una conciencia general con respecto a la búsqueda de la viabilidad de las fuentes de energía renovables que ha llevado a muchas empresas a invertir en el desarrollo de fuentes de energía cada vez más baratas, más eficientes y más “limpias”. Los avances tecnológicos en cuestión de energías renovables, en concreto energía eólica y solar, están permitiendo una reducción significativa en los costes que hacen que sea cada vez más conveniente recurrir a ellas en busca de la eficiencia y el ahorro. No obstante, en la mayoría de los casos las fuentes de energía renovables se ven impactadas por numerosas situaciones adversas, ya sean las condiciones meteorológicas o la dificultad para garantizar el suministro, lo cual impide la total erradicación de las fuentes de energía convencionales. Pero, ¿y si en lugar de perseguirse la sustitución total de los sistemas de energía convencional por energías renovables, se realizase la utilización complementaria de ambas? ¿sería viable, desde un punto de vista económico, este objetivo? ¿se conseguiría, de este modo, una mejora de la eficiencia del sistema?

Actualmente, en el mundo empresarial, el alto consumo energético de las instalaciones supone un importante coste que preocupa cada vez más ya que, de conseguirse una reducción en dicho consumo, en la mayoría de los casos se lograría un impacto positivo en la rentabilidad de la empresa. Por tanto, en los últimos años se ha visto incrementada la concienciación de las empresas sobre la importancia que tiene el ahorro energético en sus cuentas de resultados, lo que ha impulsado la implantación de cada vez más medidas para conseguir el ahorro energético y la búsqueda de una mayor eficiencia energética en oficinas y naves industriales. Un número creciente de empresas de gran importancia, como Intel o Pepsi, han tomado la iniciativa de invertir en energías renovables, uniéndose así al creciente movimiento a favor del uso de energías verdes, pero con el principal objetivo de abaratar la factura energética. Este objetivo debe también motivar a pequeñas empresas a realizar sus propios estudios de eficiencia y rentabilidad de los sistemas de energía.

Una de las componentes más importantes del consumo energético de una empresa, en cualquier sector, está asociada a los sistemas de climatización. Por tanto, si logramos la optimización de los sistemas de climatización de la empresa, conseguiremos una significativa reducción del consumo eléctrico total de la misma. Es, por tanto, de gran importancia minimizar el consumo de estos sistemas, tanto a nivel residencial como, por supuesto, a nivel empresarial o industrial. Precisamente es este último escenario, en el ámbito industrial, donde la climatización adquiere un especial protagonismo dentro del consumo energético total. La gran extensión y volumen de la mayoría de las naves industriales y el gran aporte calorífico que provoca la maquinaria en funcionamiento, resultan en un alto requerimiento de potencia para obtener una condición climática de confort.

El presente proyecto persigue como objetivo demostrar que el uso complementario de energías renovables en la climatización industrial permitiría un importante ahorro energético, optimizando la rentabilidad de la empresa y mejorando, por tanto, su cuenta de resultados. El proyecto tomará como punto de partida una nave industrial climatizada de manera convencional, y consistirá en la creación de una solución complementaria para optimizar el funcionamiento de la instalación y, consecuentemente, minimizar el coste de climatización.

En cuanto al funcionamiento de la instalación actual, se sabe que el momento de mayor consumo eléctrico, y por tanto de mayor impacto económico, es el arranque. En este proyecto se diseñará un sistema de energía alternativo que tendrá una función pre-calentadora para realizar el aporte inicial de energía de modo que, una vez arrancado el sistema, el proceso de climatización pueda continuar con la energía aportada por la caldera mediante el sistema convencional. No se pretende proponer, por tanto, un sistema de climatización sustitutivo sino complementario al actual. Para realizar este aporte de energía inicial recurriremos a fuentes de energía renovables.

## 2. Objetivos del Proyecto

Como consideración previa, y con anterioridad a la descripción de los objetivos del proyecto, es importante tener en cuenta que para optimizar la eficiencia de la instalación industrial objeto del presente proyecto no se va a perseguir la completa eliminación de una fuente de energía, sino que se tratará de reducir aquellas fuentes de mayor impacto económico, sustituyéndolas o complementándolas por otras energías alternativas de mejores prestaciones y que permitan una mayor eficiencia económica.

El este sentido, es importante tener en cuenta que el consumo de energía eléctrica es prácticamente inevitable y resulta muy difícil su completa eliminación en las instalaciones de climatización y producción de agua caliente sanitaria (ACS), puesto que, además de poder ser utilizada para calentar o enfriar agua, también se emplea para otro tipo de usos y necesidades en estas instalaciones como, por ejemplo, el accionamiento de las bombas que permiten la circulación por los distintos circuitos. Sin embargo, hay otras fuentes de energía que resultan óptimas desde un punto de vista económico y que pueden ser utilizadas de forma complementaria en la instalación, tal es el caso de algunos combustibles gaseosos (gas natural o gas propano) o sólido (biomasa). De hecho, el uso de estos combustibles es especialmente interesante desde un punto de vista económico cuando se emplea para alimentar la caldera de la instalación, siendo éste un elemento común tanto para la climatización como para el suministro de agua caliente sanitaria (ACS), y cuyo consumo es especialmente notable. La utilización de calderas alimentadas por combustibles gaseosos o bien calderas de biomasa es, por tanto, una buena alternativa frente a la utilización de calderas eléctricas capaces de producir calor utilizando energía eléctrica.

Actualmente, y con el fin de reducir tanto el consumo eléctrico como el consumo de combustibles con altos niveles de contaminación, está aumentando notablemente la instalación de calderas de gas natural, siendo hoy en día la mayoría de calderas de este tipo. A pesar de que las propiedades del gas natural son mejores que las de otros combustibles, el gas natural sigue sin ser el combustible ideal a largo plazo ya que no solo es limitado, sino que también produce contaminantes. Su precio es más reducido que el de otros combustibles y, por supuesto, que el coste de la energía eléctrica, pero la posibilidad de producir calor con un coste aún menor existe.

El objetivo de este proyecto consiste en la creación de una solución alternativa de apoyo al sistema de climatización y producción de ACS de una instalación industrial actual, basándose en el empleo de energías renovables que permitan la consecución de los siguientes beneficios:

- **Beneficio Económico:**

El principal objetivo de añadir sistemas complementarios de climatización por medio de energías renovables a una instalación convencional en una nave industrial es conseguir un **ahorro económico**.

La instalación de climatización convencional de este proyecto específico utiliza como fuentes de energía: electricidad para la central refrigeradora, las bombas y el climatizador; y gas natural para la central térmica.

La instalación utiliza dos calderas independientes, una para producción de ACS y otra para producción de agua caliente para calefacción, siendo alimentadas ambas calderas mediante gas natural. En este proyecto se optimizará la producción de agua caliente que tiene lugar en ambas calderas, buscando minimizar su necesidad de uso. La reducción del uso de las calderas supondrá un ahorro en el consumo de gas natural de la instalación puesto que habrá momentos en los cuales será posible producir agua caliente mediante el uso exclusivo de energías renovables y, por tanto, no se consumirá gas natural, mientras que también existirán situaciones en las que, a pesar de no ser suficientes las energías renovables para producir agua a la temperatura de uso, sí se utilizarán para aumentar la temperatura del agua a su entrada a la caldera, consiguiendo que la caldera realice un trabajo inferior al habitual y reduciendo, por tanto, de este modo el consumo de gas natural.

- **Beneficios Ambientales:**

Otro objetivo del proyecto es conseguir que este aporte energético se realice de tal manera que contribuya a **cuidar el medio ambiente**. La instalación de climatización actual utiliza tanto electricidad como gas natural, de modo que el efecto en el medio ambiente es perjudicial en ambos casos.

El gas natural, a pesar de ser visto hoy en día como un combustible limpio, esto no es del todo cierto puesto que, si bien es más limpio que otros combustibles fósiles utilizados en instalaciones antiguas, el gas natural es una importante fuente de contaminación especialmente durante el proceso de extracción. Asimismo, también la combustión del gas natural, aun siendo también más limpia que la de otros combustibles como el carbón o el petróleo, produce durante su combustión dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>).

La emisión de gas natural que más preocupa es aquella que ocurre durante el proceso de extracción y de distribución, durante estos procesos pueden ocurrir fugas de metano, este gas es un importante causante del efecto invernadero cuyo efecto es más perjudicial que las emisiones de CO<sub>2</sub>, en concreto, el gas metano es capaz de retener 34 veces más calor que la misma cantidad de CO<sub>2</sub> <sup>[1]</sup>. La gran cantidad de fugas existentes hacen que el gas natural sea casi tan perjudicial para la atmósfera como el carbón.

Además de la contaminación ambiental, la extracción de gas natural tiene consecuencias adicionales como la contaminación de acuíferos a causa de los químicos utilizados para su extracción, así como una estrecha relación con el incremento de la actividad sísmica en lugares donde se extrae gas natural. Además de numerosos accidentes a causa de explosiones en el sistema de tuberías, entre ellos un accidente ocurrido en San Bruno, California el 9 de septiembre de 2010 en el cual fallecieron ocho personas <sup>[2]</sup>.

El presente proyecto persigue la reducción en el consumo de gas natural, lo que permitirá la reducción de los contaminantes producidos por el mismo, los cuales son directamente proporcionales a la cantidad de combustible consumido en la climatización de la instalación industrial objeto del proyecto.

## **2.1. OBJETIVOS DE LA ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.**

Para conseguir el objetivo de reducción del consumo de combustibles contaminantes que generan un efecto negativo en el medio ambiente, se recurrirá a fuentes de energías renovables. Las fuentes de energía que mejor se adaptan a la producción de agua caliente sanitaria y apoyo a sistemas de calefacción es la producción de agua caliente por medio de energía solar y energía geotérmica. La producción de agua caliente mediante energía solar térmica es especialmente eficaz cuando se trata de abastecer el consumo de agua caliente sanitaria, es por ello que el de este proyecto es, utilizando energía solar térmica junto con energía geotérmica, abastecer de agua caliente sanitaria en el mayor porcentaje posible a una nave industrial, llegando a alcanzar el 100% del consumo en los meses de verano y en torno al 50%-80% durante el resto del año. La instalación de agua caliente sanitaria se amortizará muy rápidamente puesto que se utiliza durante todo el año independientemente de la temperatura exterior, dependiendo su uso tan solo de la cantidad de ocupación del local.

Este sistema es especialmente eficaz para la producción de agua caliente sanitaria, pero también se utiliza como apoyo a la instalación de climatización puesto que, aunque con energía solar térmica no sea posible climatizar completamente una nave industrial, si resultará de gran ayuda como aporte energético a la caldera. En efecto, los equipos de calefacción trabajan con temperaturas cercanas a los 80°C; sin embargo, los captadores de energía solar solamente permiten calentar el agua a 60°C por lo cual su función climatizadora será simplemente la de precalentar el agua de entrada en la caldera.

En cuanto al uso de energía geotérmica, se estudiará en este proyecto la posibilidad de realizar un aporte energético mediante extracción de calor del interior de la tierra. El elevado coste de esta tecnología y la dependencia de energía eléctrica hacen que sea necesario un estudio de viabilidad económica detallado ya que el aporte energético debe ser elevado y el consumo eléctrico reducido para que esta instalación pueda ser amortizada a medio plazo.

### 3. Alternativas existentes y solución adoptada

#### 3.1 CLIMATIZACIÓN

La climatización consiste en dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad del aire y, a veces también de presión, necesarias para la salud y la comodidad de quienes lo ocupan, según la Real Academia Española [3].

Este estado de comodidad que se busca para los ocupantes del espacio se consigue alcanzando el llamado confort térmico, que se logra cuando existe un equilibrio entre la producción y la pérdida de calor del cuerpo humano. El confort térmico depende de seis factores, dos factores humanos y cuatro factores ambientales.

Los factores humanos que alteran el confort térmico son: el tipo de vestimenta y el calor metabólico. Puesto que cada persona tiene un metabolismo diferente según el tipo de actividad que se realice, Povl Ole Fanger, investigador del confort térmico, descubrió la imposibilidad de alcanzar el 100% de satisfacción en el estado de confort de los ocupantes de un local llegando a la conclusión de que se debía buscar un porcentaje de insatisfacción PPD (Predicted Percentage of Dissatisfaction) inferior al 10%, obteniéndose el siguiente diagrama (Figura 1).

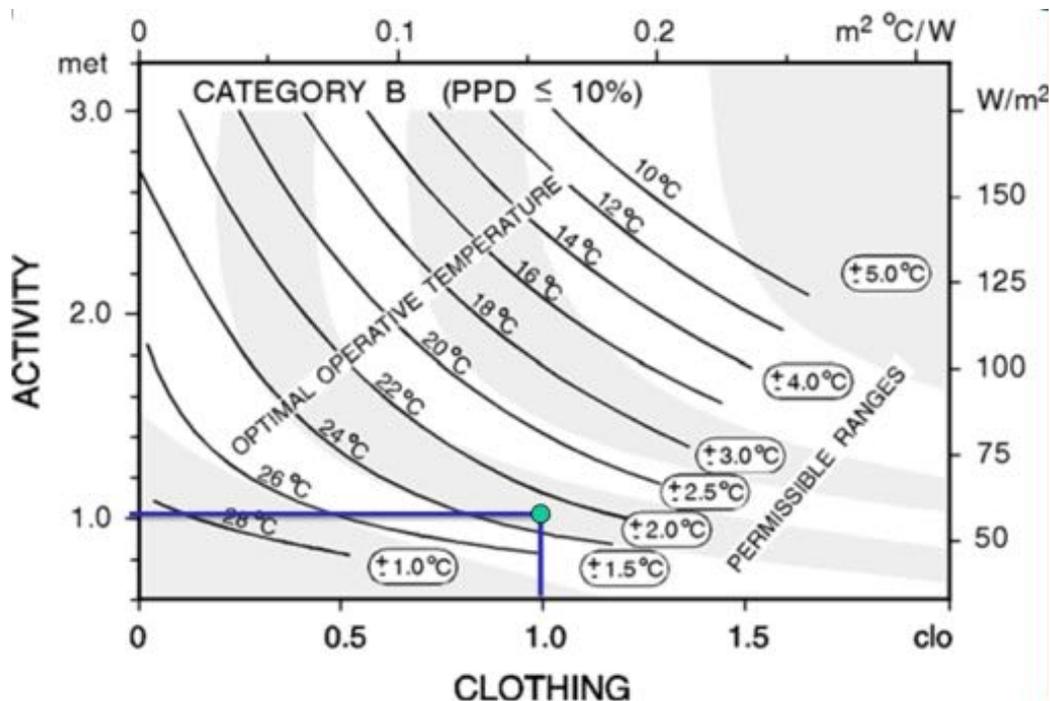


FIGURA 1. DIAGRAMA DE PREDICCIÓN DE PORCENTAJE DE SATISFACCIÓN SEGÚN VESTIMENTA Y ACTIVIDAD. FUENTE: PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

En este diagrama (Figura 1) es posible obtener la temperatura operativa óptima conocido el nivel de actividad (Tabla 1) y el tipo de vestimenta (Tabla 2).

PRENDA	Resistencia térmica [clo]
Persona desnuda	0
Ropa de verano	0,7
Ropa de entretiempo	0,8 a 1
Hombre con traje de negocios	1
Ropa de abrigo	1,5 a 2
Ropa tiempo muy frío	3 a 4

TABLA 1. RESISTENCIA TÉRMICA EN CLO SEGÚN TIPO DE VESTIMENTA. FUENTE: PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

TIPO DE ACTIVIDAD	ACTIVIDAD METABÓLICA [met]	Potencia [W]	
		q <sub>SENSIBLE</sub>	q <sub>LATENTE</sub>
Durmiendo	0,76	50	25
Sentado, sin trabajar	1,0	65	35
Paseando	1,5	75	70
Bailando moderadamente	2,5	90	160
Haciendo deporte (gym)	5,0	210	315
Trabajo oficina	1,3	75	55
Trabajo doméstico	2,0	80	120
Trabajo fábrica (ligero)	2,8	110	85

TABLA 2. RESISTENCIA TÉRMICA EN CLO SEGÚN TIPO DE VESTIMENTA. FUENTE: PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

Los factores ambientales por los que se ve afectado el confort térmico son: la temperatura de bulbo seco, la temperatura del entorno radiante, la humedad del aire y la velocidad del aire. Son los factores ambientales aquellos en los que se centra el estudio de la climatización ya que son los que podemos variar a nuestro gusto para alcanzar el confort utilizando sistemas de climatización. Dada la estrecha relación de estos factores variables el margen de confort térmico resulta ser estrecho y, con el fin de buscar unanimidad en el estudio de la climatización, existen disposiciones legales sobre el bienestar térmico (Tabla 3).

**TABLA 3. DISPOSICIONES MÍNIMAS SOBRE EL BIENESTAR TÉRMICO EN LA LEGISLACIÓN DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.**  
**FUENTE: EVALUACIÓN DEL BIENESTAR TÉRMICO EN LOCALES DE TRABAJO CERRADOS, INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.**

	<b>R.D 486/97 L.T (Condiciones ambientales de local cerrado)</b>	<b>R.D 1751/1998 RITE (Condiciones de diseño de la instalación térmica)</b>	<b>R.D 1027/2007 RITE (Condiciones de diseño de la instalación térmica)</b>
Humedad Relativa (%)	30 - 70	40 - 60	Verano: 45 – 60 Invierno: 40 - 50
	Con electricidad estática: 50 - 70		
Temperatura (°C)	Trabajos sedentarios: 17 - 27	-	-
	Trabajos ligeros: 14 - 25		
Temperatura operativa (°C)	-	Verano: 23 - 25 Invierno: 20 - 23	Para PPD < 10%; M=1,2 met; ropa de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno: Verano: 23 - 25 Invierno: 21 - 23
Velocidad del aire (m/s)	Trabajos sedentarios:	Verano: 0,18 – 0,24 Invierno: 0,15 – 0,20	Calcular en función de la temperatura del aire, la intensidad de turbulencia y el tipo de difusión del aire.
	Amb. Calurosos: < 0,5		
	Amb. No calurosos: < 0,25		
	Trabajos no sedentarios:		
	Amb. Calurosos: < 0,75		
	Amb. No calurosos: < 0,35		

Mediante el uso de sistemas de climatización conseguiremos alcanzar este confort térmico venciendo una serie de cargas térmicas, de tipo sensible y latente, que serán positivas en verano y negativas en invierno, que deben ser calculadas para poder elegir nuestro sistema. El sistema de climatización elegido será el encargado de suministrar aire a la temperatura, humedad y velocidad adecuada para cumplir todas las exigencias mencionadas.

### 3.1.1 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

- **Sistemas todo aire:** el aire para combatir la carga sensible y latente de la zona es suministrado desde una Unidad de Tratamiento del Aire (UTA) situada fuera del espacio.

TABLA 4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS TODO AIRE. FUENTE: ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

Ventajas	Inconvenientes
Centralización de equipos y facilidad de adaptación	Ocupan abundante espacio.
Máxima calidad de elementos de filtrado, enfriamiento, ventilación y humidificación.	Dificultad de equilibrar diferentes espacios.
No hay aparatos en zonas ocupadas: no ocupa espacio ni produce ruido.	Dificultad para adaptar zonas de signo contrario.

Dentro de los sistemas todo aire, existen varios tipos de subsistemas entre los que se puede elegir dependiendo de las necesidades térmicas del local a climatizar y el número de espacios. Estos sistemas son los siguientes:

TABLA 5. SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN TODO AIRE. FUENTE: ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

Tipo de sistema	Descripción
Volumen de aire constante	Se envía un caudal de aire cuya temperatura varía en la UTA.
Recalentamiento terminal.	Se impulsa de la UTA un caudal de aire capaz de vencer la carga del local de máxima demanda. En cada espacio el aire es recalentado hasta condiciones requeridas
Volumen de aire variable (VAV)	La UTA prepara aire a volumen constante capaz de vencer la mayor carga demandada. En el conducto de impulsión se instala un elemento de regulación de caudal.
Volumen de aire variable central y constante en los espacios	La UTA prepara aire a temperatura constante capaz de vencer la máxima demanda. En el conducto de impulsión de cada espacio se instala un regulador de caudal. En cada caja terminal existe una batería de recalentamiento.
Sistema de doble conducto	La UTA prepara dos aires de impulsión (frío y caliente) que se envían por distintos conductos. En la alimentación de los espacios existe una cámara de mezcla.

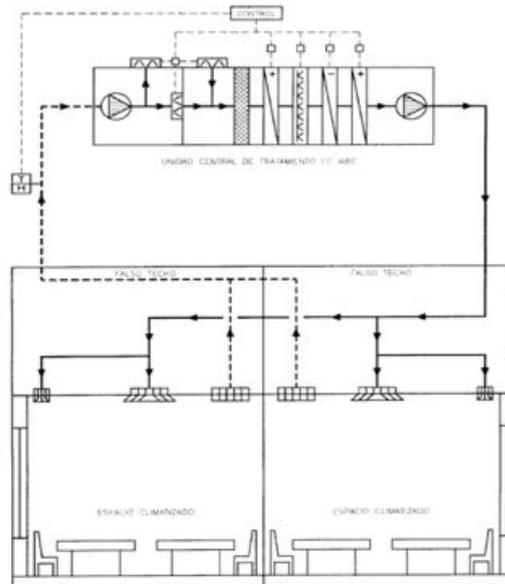


FIGURA 2. SISTEMA TODO AIRE DE VOLUMEN DE AIRE CONSTANTE. FUENTE: PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

- **Sistemas aire – agua:** estos sistemas basan su funcionamiento en el aprovechamiento de las funciones caloportadoras del agua. Constan de una central primaria de aire, una central secundaria de agua. El aire es impulsado con un caudal moderado y constante por conductos de alta velocidad a los elementos locales denominado inductores. Los inductores tienen baterías reguladas por el termostato de la zona con agua proveniente de la central de agua. Es en los inductores donde el aire de la central primaria se mezcla con aquel aspirado del local y pasa a través de las baterías para alcanzar la temperatura deseada.

TABLA 6. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS AIRE – AGUA. FUENTE: ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

Ventajas	Inconvenientes
Centralización de equipos y control de cada local	Ocupan espacio alquilable.
Menor necesidad de espacio y coste reducido	Riesgo de condensación en unidades terminales.
Posibilidad de producción de frío y calor a la vez	

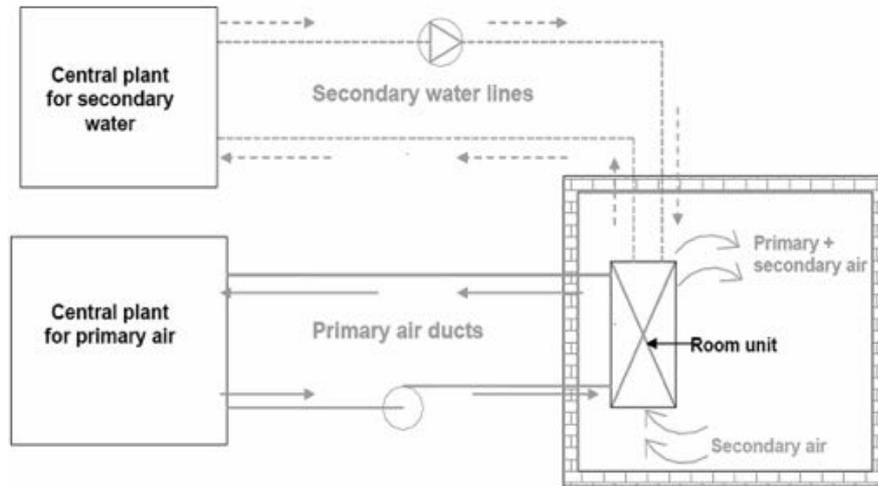


FIGURA 3. ESQUEMA DE UN SISTEMA AIRE – AGUA. FUENTE: PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

- **Sistemas todo agua:** en estos sistemas la carga se combate mediante energía transmitida por el agua fría o caliente. El agua se envía desde la batería de frío y de calor hasta los elementos terminales, habitualmente fancoils. El fancoil está dotado de un ventilador y una batería de agua, aspira el agua del local y lo hace pasar por la batería de agua para alcanzar las condiciones deseadas. Es posible realizar aporte de aire exterior mediante una UTA o realizando un aporte directamente al fancoil.

TABLA 7. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS TODO AGUA. FUENTE: ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

Ventajas	Inconvenientes
Control particularizado de cada zona y ausencia de contaminación de una zona a otra.	Ocupan espacio alquilable y son poco decorativos
Mínima necesidad de espacio y adaptable a rehabilitaciones.	Los equipos principales se encuentran en los locales.
Posibilidad de producción de frío y calor a la vez y medir consumo.	Necesidad de mantenimiento.
Se asegura circulación de aire incluso a carga reducida.	Necesidad de desagüe para bateías ya que condensan humedad.

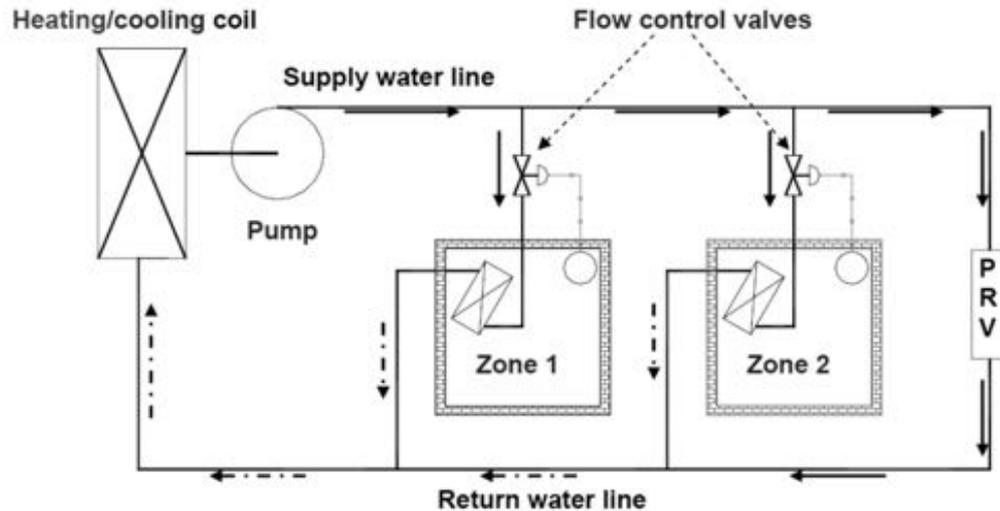


FIGURA 4. ESQUEMA DE UN SISTEMA TODO AGUA. FUENTE: PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA DE CLIMATIZACIÓN, ICAI.

Además, existen otros sistemas todo agua como los radiadores, el suelo radiante y el techo frío.

### 3.1.2 MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La cultura actual de conciencia del ahorro energético y la mejora de la eficiencia de las instalaciones de climatización ha conducido a la investigación en esta materia llevando a la creación un amplio abanico de posibilidades de mejora de la eficiencia energética de instalaciones de climatización. Las alternativas existentes son de tipo pasivas, cuyo objetivo es la disminución de la pérdida de carga en el local a climatizar, o de tipo activas, que actúan directamente sobre la eficiencia energética, añadiendo o renovando equipos de tal manera que se consiga un aporte energético a menor precio.

#### - Medidas activas:

- Sustitución de los equipos del sistema de climatización por equipos más modernos con mejores prestaciones.
- Instalación de recuperador de calor cuya función es aprovechar el aire que se extrae del espacio climatizado para intercambiar sus propiedades psicotérmicas con el aire que introducimos nuevamente en este espacio.
- Apoyo energético mediante la instalación de un sistema de energía solar térmica, sistema que utiliza la energía procedente del sol para calentar agua caliente que será utilizada a modo de precalentamiento antes de entrar en la caldera, de tal manera que se reduzca el trabajo realizado en la caldera. En algunos sistemas de climatización como los radiadores o calefacción mediante suelo radiante es posible alcanzar la temperatura de uso simplemente con los paneles solares.
- Instalación de una caldera de biomasa en sustitución a la caldera habitual de gas. Este tipo de calderas realizan una combustión utilizando combustibles sólidos denominados biocombustibles, procedentes de materia orgánica de origen animal o vegetal.

- Utilización de una bomba de calor de aerotermia, con este tipo de sistemas es posible producir a.c.s y calefacción mediante el aprovechamiento de la temperatura del aire. A pesar de ser un sistema basado en energías renovables, existe un consumo eléctrico, aunque muy reducido.
  - Utilización de una bomba de calor geotérmica, al igual que la bomba de calor de aerotermia, este sistema está basado en el uso de energías renovables, aunque existe también un consumo eléctrico mínimo. Este tipo de bombas de calor utiliza la energía procedente del subsuelo, temperatura estable a lo largo del año, para producir agua caliente en invierno que podrá ser utilizada para producir a.c.s o calefacción, y agua fría en verano que se podrá aprovechar para el aire acondicionado.
- **Medidas pasivas:** este tipo de medidas implican una rehabilitación de cerramientos de modo que se reduzca la pérdida de carga. Esta rehabilitación puede ser con aislamiento térmico en el exterior, en el interior o con relleno de cámara de aire adicionalmente al aislamiento térmico. Los tipos de aislantes empleados son:
- Poliestireno expandido (EPS)
  - Poliestireno extruido (XPS)
  - Lana mineral
  - Poliuretano
  - Espuma flexible

Existe una Guía Práctica de Rehabilitación realizada por la IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) <sup>[4]</sup> donde se detallan las recomendaciones de uso de estos aislantes.

### 3.2 PRODUCCIÓN DE A.C.S

La producción de agua caliente sanitaria consiste en el calentamiento de agua potable destinada al consumo humano. Existen varios procesos de producción, con un aspecto común, el calentamiento mediante el uso de una fuente de producción de calor, del agua fría de red, proveniente normalmente del suministro público.

Para realizar un estudio de las necesidades de producción de agua caliente sanitaria, es necesario conocer, según el uso que se le va a dar, la cantidad diaria de consumo en litros, y la temperatura a la que se va a realizar la aportación.

Dependiendo el uso que se va a dar a este agua, existen diferentes sistemas de producción, ya que no siempre será necesario el almacenamiento de agua caliente. En los casos en los que la demanda sea constante resulta más interesante realizar una producción de agua en cantidades iguales a la demanda de manera ininterrumpida. Mientras que en aquellos casos en los que el consumo sea variable con picos de demanda y momentos de demanda cero, resulta necesario un sistema de acumulación de agua.

Las instalaciones de producción de agua caliente sanitaria tienen los siguientes elementos:

- AFCH (agua fría de consumo humano): se trata del agua potable a temperatura ambiente, considerada fría, procedente normalmente del suministro público. Este agua será no solo la que calentemos para producir a.c.s. si no también se utilizará para alcanzar la temperatura de uso del agua en los elementos terminales, mezclándose con el agua caliente producida hasta la temperatura necesaria.
- Generador de calor: la producción de calor se puede realizar por medio de diferentes métodos de producción, entre los que está:
  - Caldera de gas natural: calentamiento por combustión de gas natural.
  - Caldera eléctrica: calentamiento por medio de energía eléctrica.
  - Caldera de biomasa: calentamiento por medio de combustible sólido de procedencia orgánica animal y vegetal.
  - Captadores solares térmicos: calentamiento por medio de calor proveniente del sol.
  - Bomba de calor geotérmica: calentamiento gracias al calor proveniente de la tierra y por medio de una bomba de producción de calor de bajo consumo eléctrico.
- Red de suministro: red de tuberías encargadas de llevar el agua caliente desde el acumulador o el generador de calor hasta los elementos terminales.
- Acumulador: el agua caliente precalentada, se almacenará en los acumuladores, sistemas aislados térmicamente, diseñados para retener el calor en el interior. El agua se debe acumular en el interior a una temperatura mínima de 60°C y deben tener capacidad de alcanzar una temperatura de 70°C para prevenir la Legionelosis. Se pueden emplear tanto interacumuladores que permiten un calentamiento del agua dentro del depósito por medio de un serpentín o con una envolvente exterior, o los acumuladores que únicamente almacenan el agua que ha sido previamente calentada.
- Elementos terminales: estos elementos son aquellos a través de los cuales el usuario hará uso del agua caliente, los más habituales son lavabos y duchas. Al llegar el agua a temperatura de consumo a los elementos terminales, será mezclada mediante una válvula de tres vías con agua fría de la red de suministro de modo que dicha combinación alcance la temperatura deseada por el usuario.

### 3.2.1 TIPOS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE A.C.S:

- Calentamiento de agua instantánea: este tipo de sistemas no requieren de un tanque de acumulación ya que se basan en el calentamiento de agua según la demanda instantánea. El agua fría que proviene de la red se calienta a medida que se demanda en los elementos terminales. La principal ventaja de este tipo de sistemas es el calentamiento de agua solo bajo demanda, es decir, el sistema se pondrá en funcionamiento únicamente cuando se encienda un grifo, ducha... Requiere de menos mantenimiento que otro tipo de sistemas, pero existe un pequeño retraso en la producción de agua, es decir, el caudal de agua caliente no es

inmediato al encender el grifo si no que se debe esperar a que el sistema se ponga en funcionamiento y el agua se caliente.

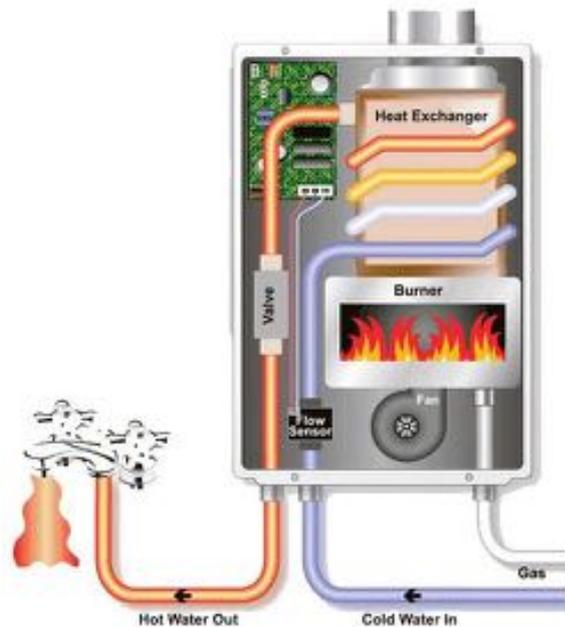


FIGURA 5. CALENTAMIENTO INSTANTÁNEO POR MEDIO DE GAS. FUENTE: [WWW.TAKAGI.COM/WHY-TANKLESS](http://WWW.TAKAGI.COM/WHY-TANKLESS)

- Calentamiento de agua con acumulación: en este sistema existe una primera etapa de calentamiento de agua con una posterior acumulación en un depósito de acumulación de agua caliente. Estos tanques pueden tener una función simplemente acumuladora, estando correctamente aislados para minimizar la pérdida de calor del agua previa a su uso, o pueden tener una función de calentamiento de agua, este es el tipo de depósito más utilizado en aplicaciones domésticas. El suministro de agua en los elementos terminales es prácticamente instantáneo ya que el proceso de calentamiento ha sido realizado previamente y simplemente se ha de transportar el agua caliente a través de tuberías hasta los elementos terminales. No obstante, en el caso de que la demanda supere las expectativas acabando con el volumen de acumulación, el proceso de llenado del depósito es largo, por ello, y para evitar este tipo de situaciones es necesario realizar un cálculo detallado de la demanda, de modo que se minimice el desperdicio de agua caliente mientras se asegura un constante suministro de la demanda.

Para sistemas de producción de agua caliente mediante energía solar, al no tratarse de una producción constante, sea cual sea su uso, es necesario utilizar un tanque de acumulación de agua caliente.

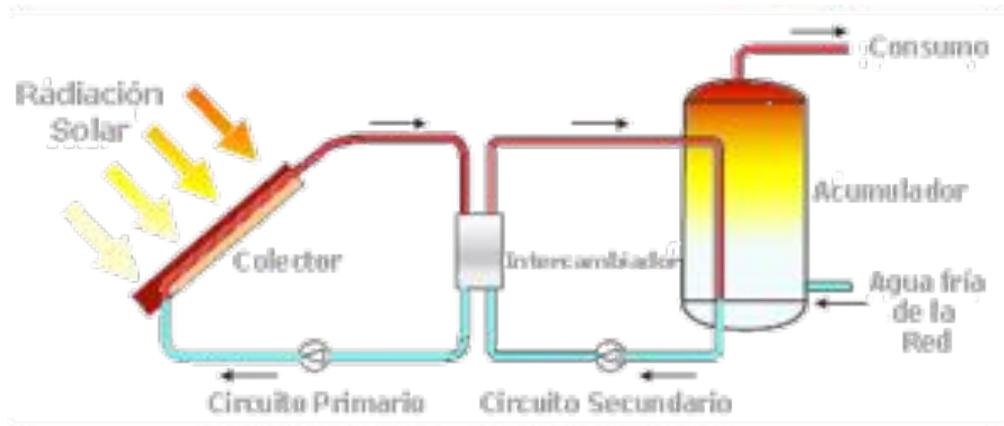


FIGURA 6. CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE ENERGÍA SOLAR CON ACUMULACIÓN. FUENTE: WWW.ABAKAN-TEACH.RU/PLACAS-SOLARES-AGUA-SANITARIA-FUNCIONAMIENTO/

### 3.3 SOLUCIÓN ADOPTADA: ENERGÍA SOLAR Y GEOTERMIA

En este proyecto, teniendo en consideración todas las posibles medidas de mejora de la eficiencia energética, se ha decidido mantener la instalación de climatización actual, así como la de producción de a.c.s., y realizar un aporte energético adicional durante el proceso de producción de agua caliente de ambos sistemas. Este aporte energético se realizará mediante la captación de energía térmica por medio de paneles solares. El sistema solar estará formado por un circuito de conductos que hará circular agua fría por el número conveniente, objeto de estudio, de captadores solares, que se encargarán de calentar el agua a la temperatura deseada. El agua caliente será enviada a través de tuberías hasta un acumulador solar, donde, sin mezclarse con el agua potable de red, intercambiará su calor a través de serpentines elevando la temperatura de red hasta la temperatura de utilización. El agua acumulada en el acumulador solar será utilizada tanto por el circuito de producción de a.c.s. convencional como para el sistema de calefacción convencional. El agua de la caldera saldrá del acumulador a la temperatura de acumulación hasta una válvula de tres vías que dividirá el agua caliente entre el sistema de a.c.s y el sistema de calefacción. Puesto que la energía solar no será suficiente para cubrir la demanda total de ambas instalaciones, el agua pasará por las calderas de ambos sistemas convencionales que terminará de calentar el agua en el caso de que sea necesario. El sistema de climatización tendrá que hacer uso de la caldera de gas en todo momento; sin embargo, el ahorro energético se conseguirá mediante la necesidad de un menor incremento de la temperatura que tiene lugar en la caldera, reduciendo así la energía necesaria ( $Q$ ) para calentar la cantidad de agua que entra en la caldera ( $m$ ) desde la temperatura de entrada ( $T_i$ ) hasta la temperatura de uso de la batería de calor ( $T_f$ ).

$$Q = m * C_e * (T_f - T_i)$$

La climatización y producción de a.c.s por medio exclusivamente de energía solar y sin necesidad de utilizar el sistema convencional, sería el caso ideal. No obstante, y debido a la variabilidad de la energía del sol, es difícil asegurar un suministro constante de la cantidad necesaria para consumo, especialmente en los meses de invierno cuando la radiación solar se ve reducida y el sistema de calefacción se encuentra en funcionamiento. Es por eso que se necesita disponer de un sistema de calentamiento de agua complementario que se ponga en funcionamiento en momentos de mayor demanda.

Para el sistema de a.c.s se podrá buscar un suministro solar muy alto, entorno al 60% y 80% de media anual, alcanzando el 100% de suministro en los meses de mayor radiación solar. Se utilizará la caldera únicamente cuando el sistema solar no sea capaz de cumplir el 100% de la demanda de a.c.s. El sistema de climatización no podrá ser abastecido únicamente con energía solar térmica, tal y como ha sido explicado previamente, ya que el momento de máximo funcionamiento de la calefacción coincide con aquellos meses de mínima radiación y la temperatura alcanzada por el sistema solar no será suficiente. No obstante, se podrá realizar un suministro energético de entorno al 20% del consumo anual.

Además, se estudiará la factibilidad de añadir un sistema de energía geotérmica complementario, utilizando una bomba de calor geotérmica que permita una mayor producción de energía utilizando fuentes de energía renovables. El agua potable que se calienta en el acumulador solar circulará previamente por la bomba de calor geotérmica donde será precalentada y necesitará menos energía procedente del sistema solar.

El estudio de viabilidad económica de este sistema tendrá especial importancia ya que los sistemas de geotermia requieren una mayor inversión inicial debido al alto coste de los equipos de producción, por lo que el ahorro energético debe ser lo suficientemente alto para poder amortizar esta inversión inicial en el menor número de años posible.

El sistema de energía geotérmica tendrá especial importancia en los meses de invierno cuando aumenta la demanda energética debido al funcionamiento de la calefacción y el sistema solar es incapaz de producir calor suficiente. Puesto que la bomba de calor geotérmica consume electricidad se estudiará la posibilidad de detener su funcionamiento en aquellos momentos en los que la radiación solar sea máxima.

Las posibles configuraciones que se van a estudiar serán las siguientes:

- Sistema convencional con aporte solar durante todo el año.
- Sistema convencional con aporte solar durante todo el año y aporte geotérmico en invierno.

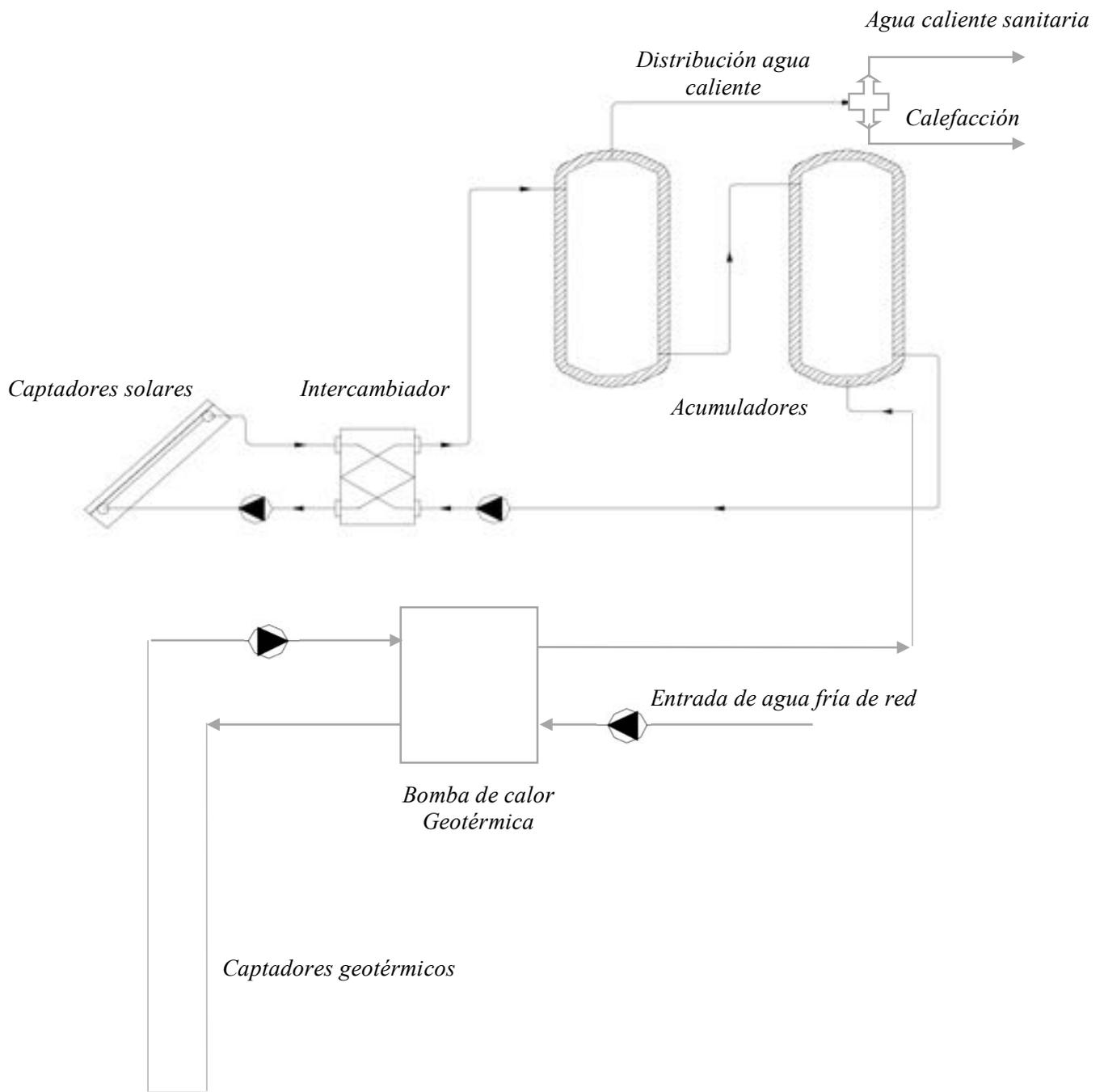


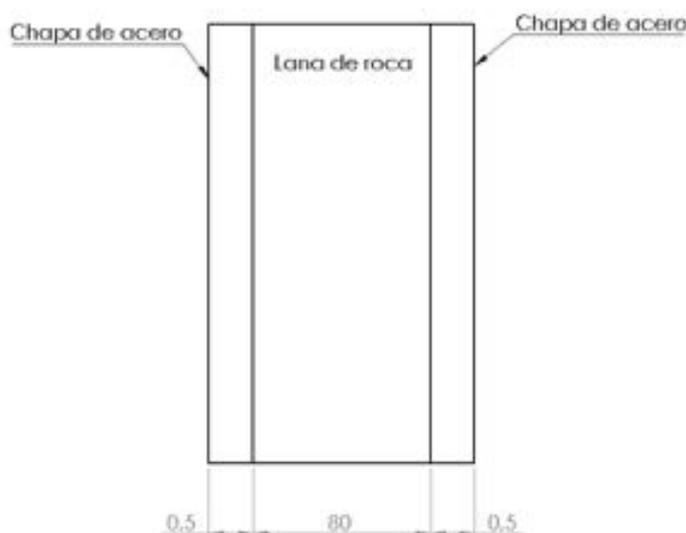
FIGURA 7. ESQUEMA COMPLETO DE LA INSTALACIÓN

## 4. Descripción del proyecto

### 4.1 EMPLAZAMIENTO

El estudio no se realiza sobre una nave industrial específica existente, ya que el objetivo es demostrar la posibilidad de mejora de la eficiencia energética que podría obtenerse en una nave industrial genérica bajo determinadas condiciones de ubicación, construcción, ocupación y consumo. Las características de la nave sobre la que se realizará el estudio son las siguientes:

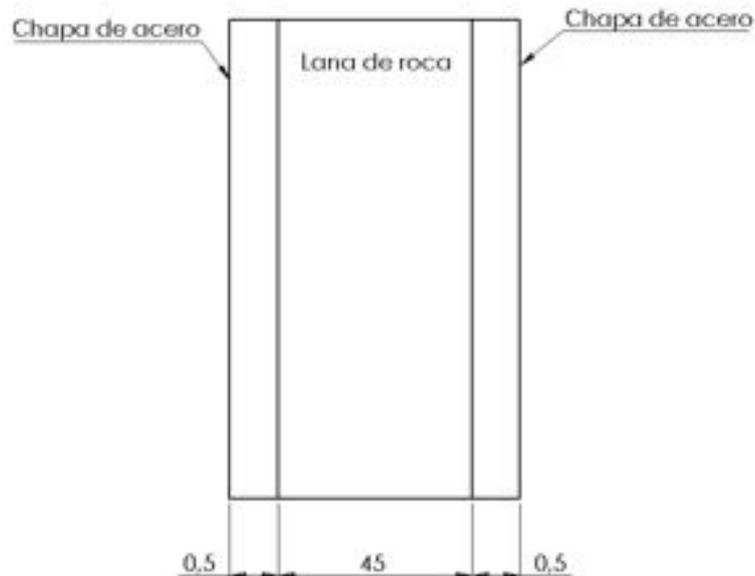
- Localización: Robledo de Chavela, Madrid.
  - Latitud: 40° 25' 46''
  - Longitud: 04° 14' 48'' W
- Dimensiones:
  - Ancho: 20 metros.
  - Largo: 25 metros.
  - Altura: 7 metros.
  - Volumen: 3500 metros cúbicos.
- Ocupación: la ocupación máxima del local será de 100 personas lo que supone un espacio por persona de 5 metros cuadrados. Para los estudios se considerará la nave industrial ocupada al 100% durante todo el año a excepción de los meses de julio y agosto en los que, por vacaciones, la ocupación será del 75%.
- Características constructivas: los cálculos de transmitancia térmica K de los cerramientos pueden encontrarse en el Anexo I.
  - Fachadas: realizadas con paneles sandwich de chapa de acero (0,5 mm cada panel) y núcleo de lana de roca (80 mm)



$$K_{fachada} = 0,4128 \frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$$

La nave industrial consta de cuatro fachadas, dos fachas de dimensiones 25x7 m con orientación norte y sur, y otras dos fachadas con dimensiones 20x7 m con orientación este y oeste.

- Cubierta: soleada, compuesta por paneles sandwich de chapa de acero (0,5 mm cada chapa) y nucleo de lana de roca (45 mm).



$$K_{cubierta} = 0,17 \frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$$

- Ventanas: tendrán acristalamiento sencillo con carpintería metálica y no dispondrán de persiana.

$$K_{ventana} = 4,3 \frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$$

Existen tres ventanas, una de dimensiones 2x2 m con orientación norte y otras dos de dimensiones 1x0,5 m con orientación sur.

- Suelo: no tendrá aislamiento térmico.

$$K_{suelo} = 1,5 \frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$$

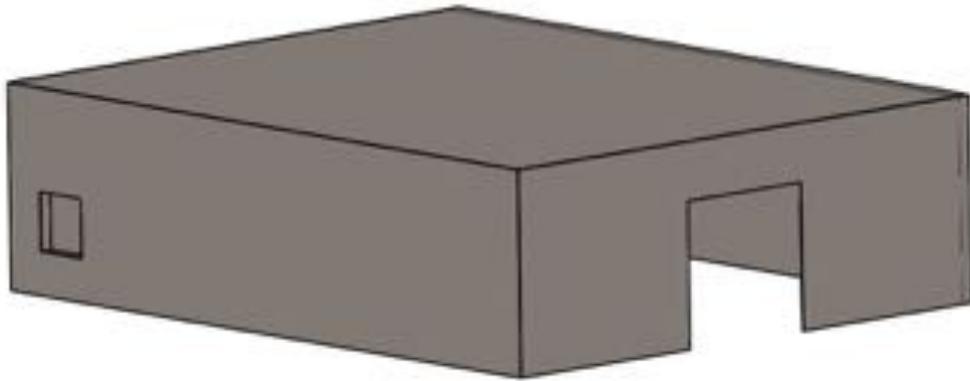


FIGURA 8. NAVE INDUSTRIAL EN 3D

#### 4.2. SISTEMA ACTUAL DE CLIMATIZACIÓN:

El sistema actual de climatización que utiliza la nave industrial es un sistema todo aire preparado para vencer una carga de 180 KW en verano y 97 KW (Cálculo de cargas realizado en Anexo II). El elemento principal del sistema es la unidad de tratamiento del aire (UTA) formada por dos ventiladores, una zona de filtrado del aire, una batería de calor alimentada desde una caldera de gas natural y una batería de frío alimentada desde un enfriador eléctrico. El sistema además consta de bombas eléctricas de agua, conductos de distribución de aire y agua, unidades de impulsión hacia la nave y rejillas de retorno. Las condiciones interiores y exteriores utilizadas en los cálculos son las siguientes:

- Condiciones exteriores: los datos han sido extraídos de la Guía Técnica de Condiciones Climáticas Exteriores de Proyecto, realizado por la IDAE en 2010 <sup>[5]</sup>. Las condiciones expuestas en la Tabla 8 son las correspondientes a la localidad de Robledo de Chavela.

TABLA 8. DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA ROBLEDO DE CHAVELA, MADRID. FUENTE: GUÍA TÉCNICA DE CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTEIORES, IDAE.

Provincia	Estación					Indicativo	
Madrid	Robledo de Chavela					3338	
<b>UBICACIÓN: AISLADO</b>			<b>Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO</b>				
a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad	
790	40°25'46"	04°14'48"W	75.583	12.570			
<b>CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)</b>							
TSMIN (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	HUMcoln (%)	OMA (°C)		
-11,0	-2,9	-1,4	12,8	74,9	38,0		
<b>CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)</b>							
TSMAX (°C)	TS_0,4 (°C)	THC_0,4 (°C)	TS_1 (°C)	THC_1 (°C)	TS_2 (°C)	THC_2 (°C)	OMDR (°C)
42,5	35,1	22,7	33,8	22,0	32,5	21,5	16,2
<b>CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA)</b>							
TH_0,4 (°C)	TSC_0,4 (°C)	TH_1 (°C)	TSC_1 (°C)	TH_2 (°C)	TSC_2 (°C)		
23,0	23,0	22,1	22,1	21,4	21,4		
<b>VALORES MEDIOS MENSUALES</b>							
Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20	RADH (kWh/m² día)	TTERR (°C)
Enero	5,5	7,7	275	419	0		
Febrero	6,7	9,2	227	361	0		
Marzo	9,9	12,1	164	300	1		
Abril	11,6	13,8	123	246	5		
Mayo	15,3	17,5	59	151	21		
Junio	23,0	24,8	7	37	96		
Julio	25,0	27,4	1	16	159		
Agosto	24,5	26,9	2	18	150		
Septiembre	20,3	23,1	11	61	70		
Octubre	14,3	16,8	65	183	10		
Noviembre	8,7	10,8	184	325	0		
Diciembre	6,2	8,1	244	376	0		

Para los cálculos que se realicen los números serán redondeados a una temperatura de 34°C en verano y -3°C en invierno.

- Condiciones interiores: tal y como se explicó en secciones anteriores, las condiciones interiores de climatización son aquellas que buscan el confort térmico de los ocupantes. Para facilitar los cálculos se ha elegido el punto de los rangos de invierno y verano coincidentes.
  - Verano: temperatura de 23°C con humedad relativa del 50%.
  - Invierno: temperatura de 23°C con humedad relativa del 50%.

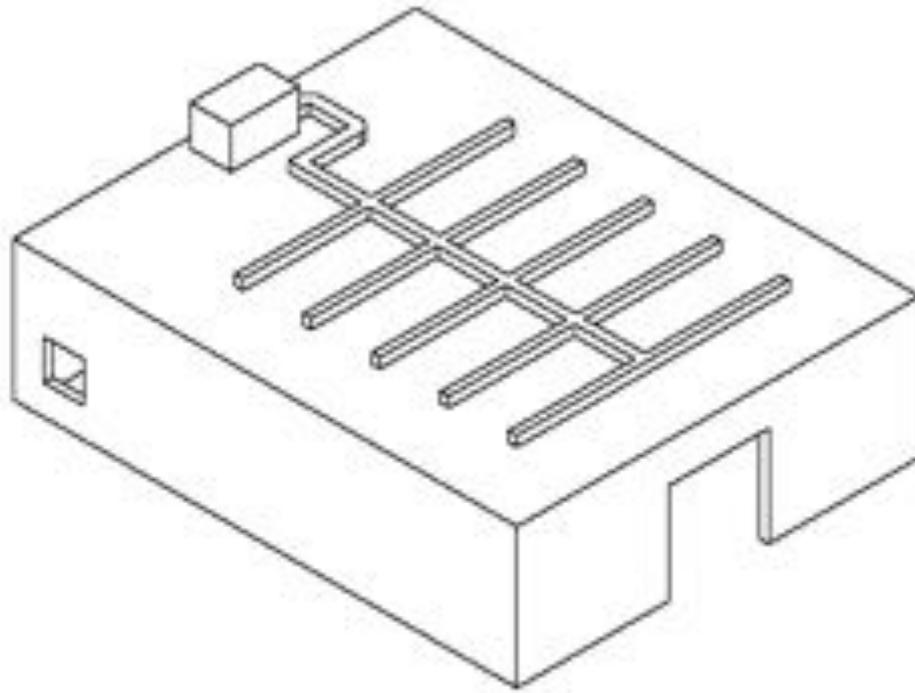


FIGURA 9. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE LA NAVE INDUSTRIAL EN 3D.

### 4.3. SISTEMA ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE

#### SANITARIA:

Actualmente la producción de agua caliente sanitaria se realiza mediante un sistema de acumulación con interacumulador de serpentín interior, alimentado por agua caliente proveniente de una caldera de gas. El interacumulador tiene una capacidad suficiente para abastecer la demanda máxima de agua durante un día. Esta demanda ha sido calculada según la Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central de la IDAE <sup>[6]</sup> y el nivel de ocupación, que se ha definido previamente, de 100 personas.

TABLA 9. CONSUMO DIARIO DE ACS A 60°C. FUENTE: GUÍA TÉCNICA DE AGUA CALIENTE SANITARIA CENTRAL, IDAE.

Criterio de consumo de ACS para diseño de instalaciones		
Tipo de edificio	Litros/día a 60 °C	Energía para T° Red = 15 °C
Viviendas unifamiliares	30 por persona	573 kWh/año persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona	420 kWh/año persona
Hospitales y clínicas	55 por cama	1.050 kWh/año cama
Hotel 4*	70 por cama	1.337 kWh/año cama
Hotel 3*	55 por cama	1.050 kWh/año cama
Hotel/Hostal 2*	40 por cama	764 kWh/año cama
Hostal/Pensión 1*	35 por cama	668 kWh/año cama
Camping	40 por emplazamiento	764 kWh/año emplazamiento
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55 por cama	1.050 kWh/año cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15 por servicio	286 kWh/año servicio
Escuela	3 por alumno	57 kWh/año alumno
Cuarteles	20 por persona	382 kWh/año persona
Fábricas y talleres	15 por persona	286 kWh/año persona
Administrativos	3 por persona	57 kWh/año persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario	477 kWh/año usuario
Lavanderías	3 a 5 por kg de ropa	95 kWh/año kg de ropa
Restaurantes	5 a 10 por comida	191 kWh/año comida
Cafeterías	1 por almuerzo	19 kWh/año almuerzo

Siguiendo este criterio el consumo diario de agua caliente sanitaria en la nave industrial sería de 1500 litros.

$$A.C.S = 100 \text{ personas} * 15 \frac{L}{\text{día}} \text{ por persona} = 1500 L/\text{día}$$

#### 4.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

##### 4.4.1. TECNOLOGÍA DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

El principio de funcionamiento de la energía solar térmica, se basa en la captación de calor proveniente de la radiación solar, mediante sistemas de transmisión de calor a un fluido caloportador para producción de agua caliente.

Los sistemas de energía solar térmica están compuestos por captadores solares, encargados de captar el calor proveniente del sol. La captación de calor se produce mediante el calentamiento de agua, agua con Glycol o aire que lleva el calor con ayuda de una bomba de circulación a través de tuberías hasta un intercambiador de calor para realizar el intercambio con el sistema de agua que se desea calentar, ya se para piscinas climatizadas, agua caliente sanitaria o calefacción.

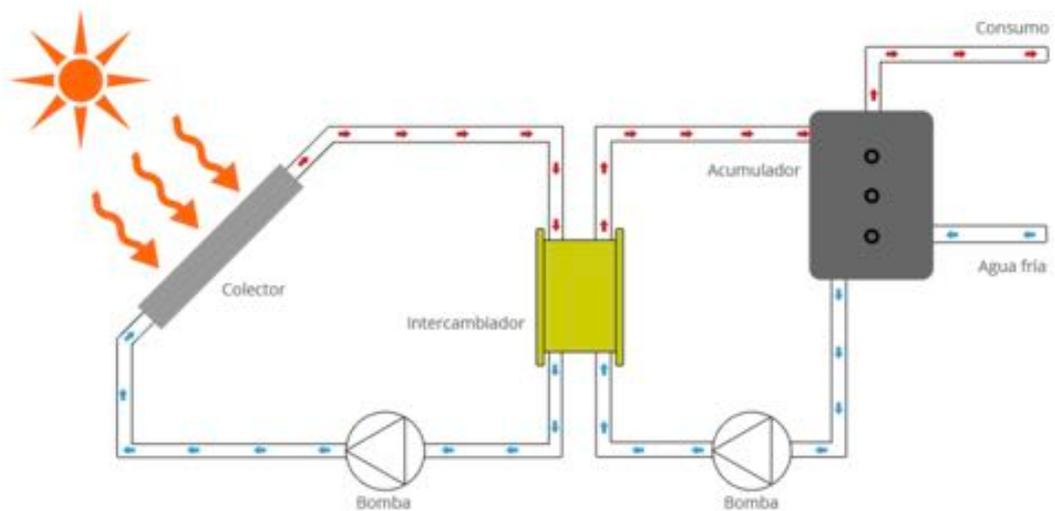


FIGURA 10. ESQUEMA DEL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. FUENTE: [WWW.EKIDOM.COM/FUNCIONAMIENTO-DE-LA-ENERGIA-SOLAR-TERMICA](http://WWW.EKIDOM.COM/FUNCIONAMIENTO-DE-LA-ENERGIA-SOLAR-TERMICA)

El componente principal de los sistemas de energía solar térmica es el captador solar, cuyo principio básico de funcionamiento es la conversión de la radiación solar de onda corta en calor mediante un efecto fototérmico.

Existen dos tipos de captadores solares:

### Captadores solares plano:

Los captadores solares planos están compuestos por un acristalamiento, una placa metálica negra y los conductos por donde fluye el fluido caloportador.

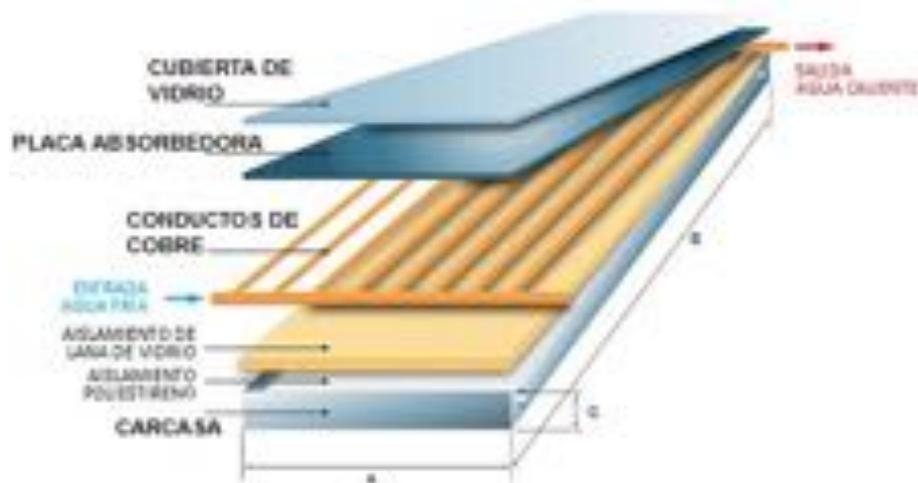


FIGURA 11. CAPTADOR SOLAR PLANO. FUENTE: [WWW.INGEMECANICA.COM/TUTORIALSEMANAL/TUTORIALN188.HTML](http://WWW.INGEMECANICA.COM/TUTORIALSEMANAL/TUTORIALN188.HTML)

Se utilizará cristal que permitirá el acceso de las ondas de sol cortas y actuará de barrera contra las ondas de sol largas, esta capa de cristal logra un efecto invernadero dentro del captador solar, permitiendo al calor acceder el interior de la cavidad y quedar ahí atrapado, alcanzándose temperaturas en el colector mucho mayores que las obtenidas sin cristal.

Los captadores dispondrán de una placa absorbedora, colocada justo debajo del cristal. Se tratará de una superficie de captación negra por su alto coeficiente de absorción, lo que permitirá absorber el mayor calor posible del sol, y las ondas largas que son emitidas desde la placa absorbedora no podrán abandonar el recinto inferior al cristal debido al efecto invernadero. Estas placas están fabricadas habitualmente de cobre o aluminio. El simple aumento de temperatura de la placa absorbedora, llegando a alcanzar temperaturas de hasta 200°C transmitirá este calor al fluido caloportador que circula por tubos de cobre soldados a la placa.

El resto de caras del captador estarán dotadas de material aislante para prevenir la pérdida de calor e introducido todo su conjunto en una carcasa.

### **Captadores solares de tubo vacío:**

El principio de funcionamiento de los captadores solares de tubo vacío es muy similar al de los captadores solares planos.

Están compuestos por dos tubos de cristal concéntricos entre los cuales se crea vacío, lo que permite una menor pérdida de calor por convección ya que no hay aire para transferirla y por tanto un mayor rendimiento. El tubo interior está recubierto por una lámina de material absorbente negro, cuya función es la misma que la de los captadores solares planos. La radiación solar es captada a través de estas láminas y transmitida al interior del tubo, por donde circula el fluido caloportador, en forma de calor



FIGURA 12. CAPTADOR SOLAR DE TUBO DE VACÍO. FUENTE:  
[WWW.INGMECANICA.COM/TUTORIALSEMANAL/TUTORIALN188.HTML](http://WWW.INGMECANICA.COM/TUTORIALSEMANAL/TUTORIALN188.HTML)

Los tubos de vacío son más eficaces y tienen un mayor rendimiento, resultando más útiles para logares con baja radiación solar, o para instalaciones de temperatura de agua superior a 60°C. Tienen una mayor adaptabilidad a una colocación equivocada, es decir, permite una mayor variación del ángulo óptimo de colocación, sin disminuciones considerables del rendimiento.

No obstante, y como es de esperar, tienen un alto coste, duplicando o triplicando el precio de los captadores solares planos, y tienen una vida útil más corta, debido a su fragilidad y a la pérdida de vacío en el interior con el paso del tiempo.

Habitualmente se emplean captadores solares planos siempre y cuando las condiciones ambientales lo permitan.

#### 4.4.2. TECNOLOGÍA DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

El principio de funcionamiento de la energía geotérmica se basa en la captación del calor proveniente del interior de la tierra, que a altas profundidades se mantiene a una temperatura constante independientemente de la temperatura de ambiente. Mediante una superficie de captación, se transmitirá el calor de la tierra hacia un fluido caloportador que se encuentra a una temperatura inferior. También existen métodos de captación de calor mediante absorción de agua subterránea.

Los elementos fundamentales para el funcionamiento se la instalación de energía geotérmica por medio de bomba de calor, son las sondas de captación de calor que transportan en calor mediante un fluido caloportador o agua subterránea hasta la bomba de calor que con un pequeño aporte de energía eléctrica es capaz de producir agua caliente. Una de las principales ventajas de este sistema, es que la temperatura constante del interior de la tierra que se encuentra entorno a los 10°C, permite la producción de agua caliente durante el invierno, y mediante una inversión del funcionamiento de la bomba, podremos producir agua fría durante el verano.

La captación de calor del interior de la tierra se puede realizar empleando dos tipos diferentes de sondas de captación:

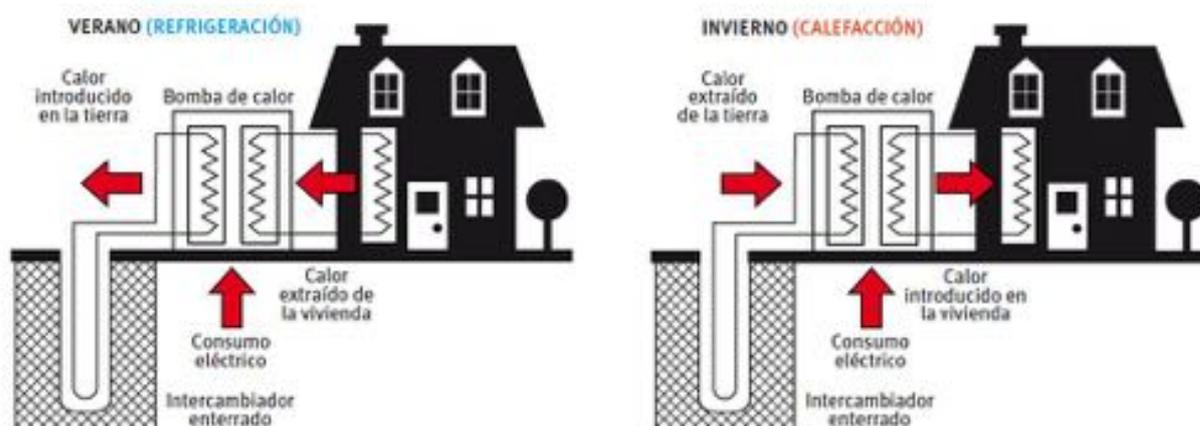


FIGURA 13. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBA GEOTÉRMICA EN INVIERNO Y VERANO. FUENTE: WWW.CERTIFICADOSENERGETICOS.COM

### Captación horizontal:

Las sondas de captación horizontal se colocan de manera distribuida ocupando un gran espacio y a poca profundidad, en torno a 60 y 100 cm de profundidad. Se trata de una instalación sencilla ya que a pesar de perforar un espacio amplio la profundidad de perforación es pequeña y por tanto menos costoso. Por otra parte, únicamente podremos utilizar este sistema si disponemos del espacio suficiente.

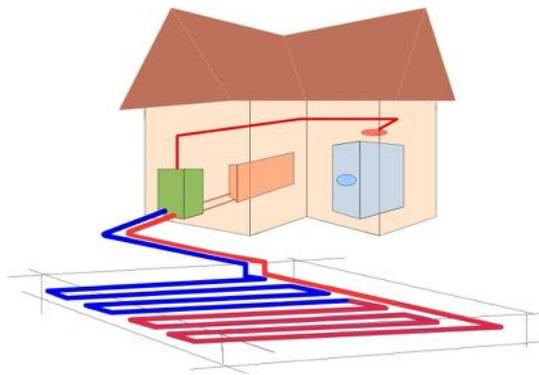


FIGURA 14. SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA HORIZONTAL. FUENTE: WWW.CYMPER.COM

### Captación vertical:

Las sondas de captación vertical requieren de una profundidad mucho mayor que las horizontales, y por tanto el coste de la instalación es mucho mayor ya que requiere de perforaciones de entre 20 y 150 metros. El espacio utilizado es menos por tanto es el tipo de instalación adecuado para terrenos pequeños.

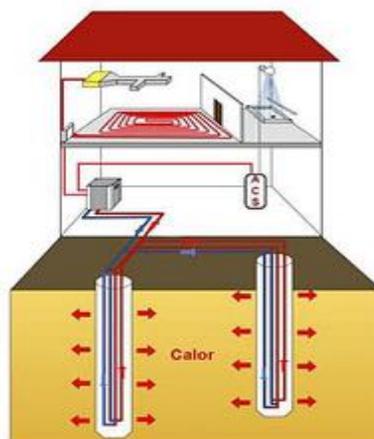


FIGURA 15. SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA VERTICAL. FUENTE: WWW.CYMPER.COM

## Captación abierta:

Este tipo de sondas de captación son similares a las verticales a diferencia del tipo de circuito, en este caso se trata de un circuito abierto que llegará hasta un caudal de agua subterráneo, será este mismo agua el que se bombee hasta la bomba de calor. Este tipo de instalaciones son las que mayor rendimiento tienen, sin embargo, es necesario disponer de un caudal subterráneo, circunstancia que se da ocasionalmente.

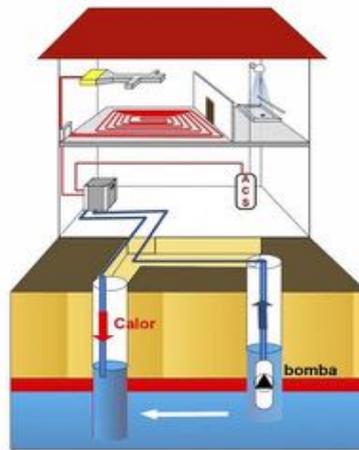


FIGURA 16. SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA ABIERTA. FUENTE: WWW.CYMPER.COM

## Bomba de calor geotérmica:

El elemento encargado de la producción de agua caliente en invierno y de agua fría en verano es la bomba de calor. Puesto que se trata de un ciclo exactamente igual, pero en sentido inverso para invierno y para verano, se explicará únicamente el funcionamiento en invierno.

El principio de funcionamiento de la bomba de calor para invierno consta de cuatro pasos que son los siguientes:

- 1) En el principio del ciclo, tiene lugar un intercambio de calor entre el fluido caloportador que recorre la sonda geotérmica y el fluido refrigerante que recorre la bomba de calor en el evaporador. Durante el trayecto del evaporador el fluido refrigerante que comenzó siendo líquido, tras la ganancia de calor se evapora.
- 2) El vapor obtenido recorrerá el compresor, alimentado por electricidad, donde aumenta su temperatura mediante un drástico aumento de la presión.
- 3) El fluido refrigerante abandona el compresor a una temperatura superior a la de la calefacción y aún en estado gaseosos, recorre el condensador, donde tiene lugar el intercambio de calor entre el fluido refrigerante y el agua de calefacción, y al perder calor comenzará a condensarse debido a la reducción de temperatura.
- 4) A continuación, circulará por la válvula de expansión, donde ocurrirá el proceso contrario al compresor, el fluido disminuirá considerablemente su presión lo que se verá reflejado en una gran reducción de temperatura a una temperatura inferior a la del fluido caloportador que circula por la sonda geotérmica.

Esquema de funcionamiento  
de una **bomba de calor**

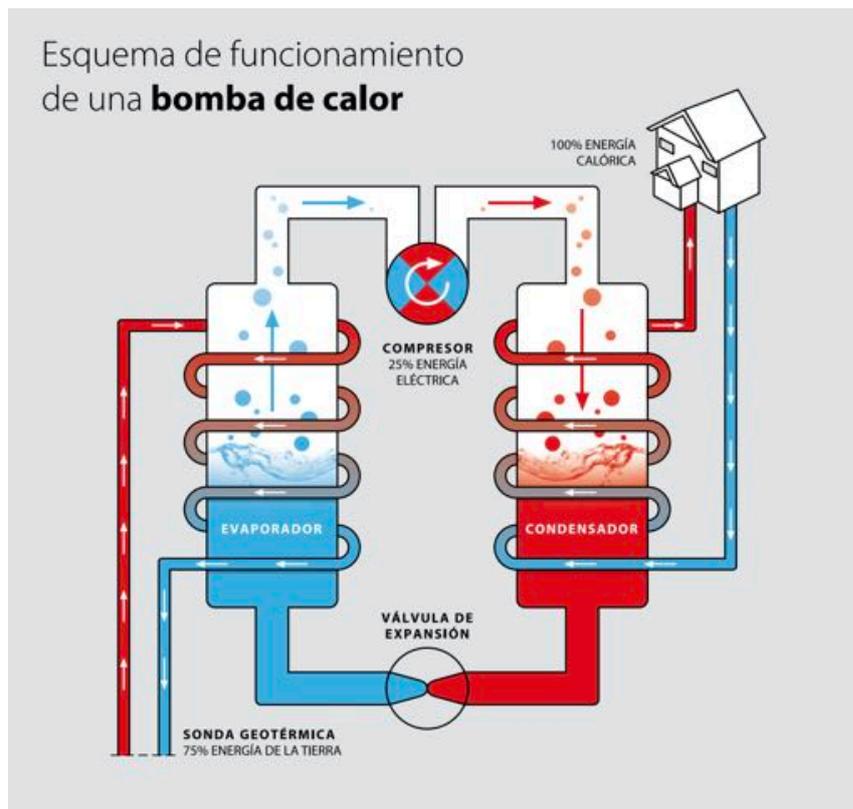


FIGURA 17. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE CALOR. FUENTE: EFICIENCIA ENERGÉTICA, GEOTERMIA – SUELO RADIANTE. ASETUB.

## 5. Instalación solar

### 5.1 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR

#### Configuración de la instalación:

- Principio de circulación: circulación forzada. Este tipo de instalaciones cuenta con dispositivos, como bombas de calor, que fuerzan la circulación del fluido por el circuito.
- Sistema de transferencia de calor: sistema indirecto con intercambiador de calor previo al acumulador solar. En este sistema, el fluido del circuito plunario no se mezcla con el agua de consumo.
- Sistema de energía auxiliar: mediante caldera de gas en el sistema de a.c.s y calefacción.

#### Esquema de la instalación:

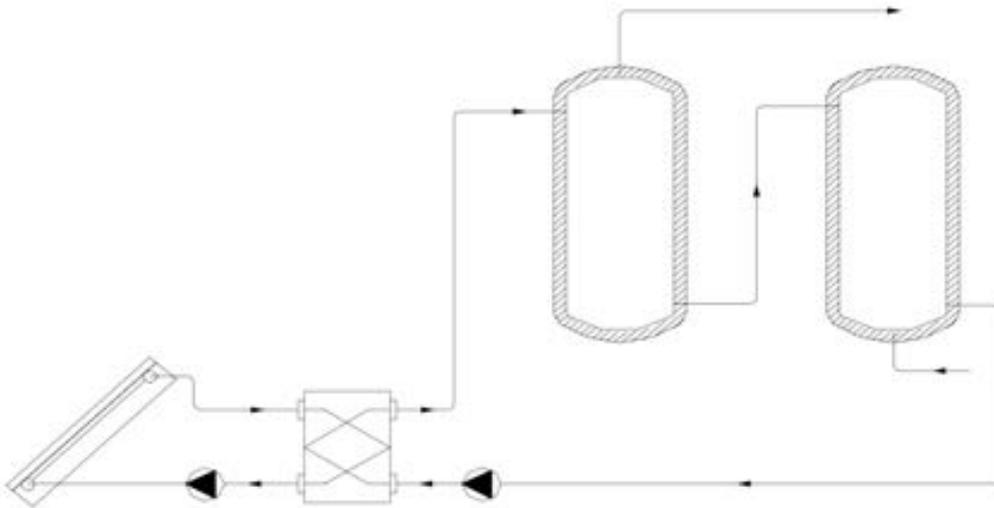


FIGURA 18. SISTEMA DE CAPTACIÓN SOLAR CON INTERCAMBIADOR EXTERIOR Y DOBLE DEPÓSITO DE ACUMULACIÓN. FUENTE: GUÍA DE INSTALACIONES DE BAJA TEMPERATURA, IDAE.

#### Circuitos de la instalación:

- Circuito primario solar: circuito de captación de energía de producción. En este circuito se encuentran los captadores solares encargados de calentar el fluido caloportador. Este fluido se traslada a través de una red de tuberías hasta el intercambiador de calor. El intercambiador de calor es el elemento común al circuito primario y secundario, a través del cual

tiene lugar la transferencia de calor. El fluido caloportador pierde calor durante este proceso de intercambio entre los dos circuitos, saliendo del serpentín a una temperatura inferior. Puesto que se trata de un sistema de circulación forzada, el fluido será impulsado por medio de una bomba hasta los captadores solares para repetir el circuito.

- Circuito secundario: Circuito que recibe el calor aportado en el intercambiador de calor y lo traslada en modo de agua caliente a los acumuladores solares conectados, siguiendo el criterio de la IDAE <sup>[7]</sup>, en serie invertida con el circuito de consumo. Esta conexión permite el funcionamiento de la instalación con uno de los depósitos desconectado. Aquí el agua será almacenada a una temperatura de 60°C y abandonará el depósito por una tubería hacia una válvula de tres vías, donde será distribuida hacia el circuito secundario de a.c.s y de calefacción.
- Circuito secundario de a.c.s: este circuito abastece de agua caliente sanitaria la nave industrial. Puesto que se trata de parte de la instalación convencional, no es objeto de estudio.
- Circuito calefacción: al igual que el circuito de agua caliente sanitaria, este circuito pertenece a la instalación convencional, siendo su función la de calentar la nave industrial en invierno.

## **5.2 CONSIDERACIONES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR**

### **5.2.1. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR**

En el Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones solares de baja temperatura realizado por la IDAE <sup>[7]</sup>, se definen una serie de limitaciones de producción energética en la instalación solar.

Se debe diseñar la instalación de tal manera que ningún mes se produzca más del 110% del consumo de a.c.s y se limitará a tres meses la producción al 100%. Además, se recomienda la limitación de producción de energía destinada a climatización a valores entre 10% y 30%.

### **5.2.2. PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN**

En el diseño del sistema de captación solar, el posicionamiento de los paneles solares queda limitado para garantizar el funcionamiento con la mayor eficiencia posible y, por tanto, con pérdidas mínimas. Para lograr esto es necesario hacer un estudio de las pérdidas por orientación e inclinación y por sombra.

En la Guía de Instalaciones de Baja Temperatura de la IDAE <sup>[7]</sup>, se realizan una serie de recomendaciones para el posicionamiento más eficiente de los captadores solares. La orientación más óptima según este documento es la orientación sur de los paneles solares. En cuando a la inclinación existen dos posibilidades:

- Inclinación fija: ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar de ubicación.

- **Inclinación variable:** ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar de ubicación, con un incremento de 10° en verano y reducción de 10° en invierno.

Puesto que la latitud de Madrid es de 40,2°, y eligiendo una inclinación fija, nuestro ángulo de inclinación sería de 40,2°. Sin embargo, y por mayor facilidad de montaje de la instalación, se ha realizado una aproximación a 45°.

Los cálculos de pérdidas se realizarán, por tanto, con 45° para asegurar que se encuentran dentro de los valores permitidos.

Los valores permitidos para estas pérdidas quedan definidos en la Guía de Instalaciones de Baja Temperatura de la IDAE <sup>[7]</sup> y se muestra en la tabla 10:

**TABLA 10. PÉRDIDAS OI Y S PERMITIDAS. FUENTE: GUÍA DE INSTALACIONES DE BAJA TEMPERATURA, IDAE.**

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

Latitud: 40,2°

Cogiendo como punto de referencia sur para establecer 0°C y con un ángulo de giro horario tal y como se observa en la Figura 19, se establece un ángulo de inclinación de referencia, en el caso de este diagrama, de 41°.

Por la disposición de la nave industrial será posible colocar todos los colectores solares con orientación sur. Por tanto, trazamos una línea vertical uniendo el centro de la esfera con el valor 0° y buscamos los límites de inclinación que son aquellos valores máximos y mínimos que no superen una pérdida de 10% tal y como se establece en la tabla 10. Estos valores son los límites dentro de la franja rallada (90%-95%), siendo el inferior el más cercano al centro del círculo y el superior el más cercano al perímetro del círculo.

Puesto que nuestra inclinación será de 45° en lugar de 41° para buscar una mayor facilidad en el montaje, una vez calculada la inclinación máxima y mínima habrá que hacer una corrección.

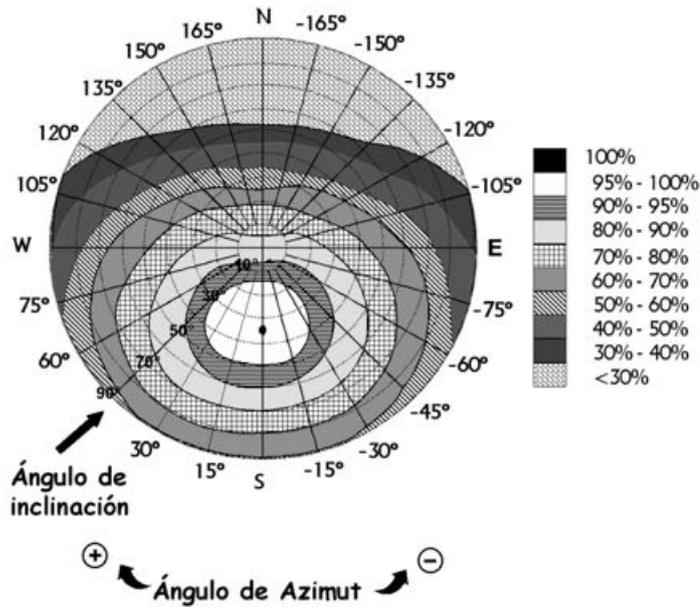


FIGURA 19. ANGULO DE AZIMUT DEL CAPTADOR PARA UNA LATITUD DE 41°. FUENTE: GUÍA DE INSTALACIONES DE BAJA TEMPERATURA, IDAE.

Inclinación máxima= 60°

Inclinación mínima=5°

Corrección para latitud 45°

Inclinación máxima= 60° - (41°-45°) = 64°

Inclinación mínima=5° - (41°-45°) = 9°

### 5.2.3. PÉRDIDAS POR SOMBRA

Las pérdidas por sombra son aquellas que tienen lugar en la superficie de captación a causa de las sombras circundantes. El objetivo es conseguir un porcentaje inferior al 10% mediante cálculo basado en tablas con ángulos de orientación e inclinación de referencia. Este es un cálculo necesario en instalaciones solares ya que afecta considerablemente al rendimiento de la instalación; no obstante, en este proyecto, puesto que la nave no se encuentra rodeada de ningún elemento de mayor altura que la cubierta, no es necesario realizar el cálculo, ya que las pérdidas por sombra son del 0%.

### 5.2.4. DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS

La distancia mínima entre filas de captadores es un cálculo destinado a evitar que una fila provoque sombra en algún momento del día sobre otra fila.

Teniendo en cuenta que utilizaremos captadores Icaro VHM 2.1 con una inclinación de  $45^\circ$  y, puesto que todos los captadores están apoyados sobre la misma superficie plana sin desniveles, la altura será la longitud del panel por el seno del ángulo de inclinación:

$$h = 2,018 \text{ m} \times \text{sen}(45^\circ) = 1,427 \text{ m}$$

La distancia entre filas se calcula según la siguiente fórmula, teniendo en cuenta la latitud de la ubicación  $40,42^\circ$ :

$$d = h / \tan(61^\circ - \text{latitud}) = 1,427 \text{ m} / \tan(61^\circ - 40,42^\circ) = 3,8 \text{ m}$$

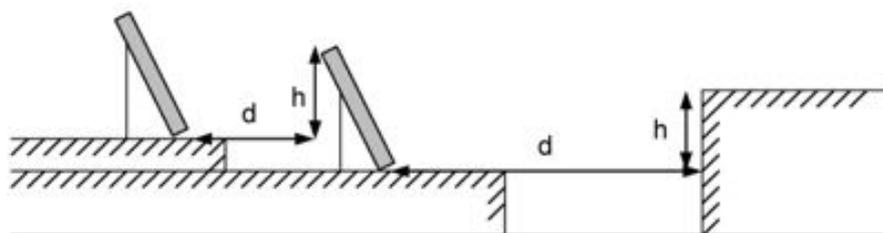


FIGURA 20. ESQUEMA DE DISTANCIAS D Y H PARA EL CÁLCULO DE LA DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS. FUENTE: GUÍA DE INSTALACIONES DE BAJA TEMPERATURA, IDAE.

## 5.3 CÁLCULOS

### 5.3.1 MÉTODO FCHART PARA PRODUCCIÓN DE A.C.S:

Los cálculos de la instalación solar se han realizado utilizando el método FChart. El método Fchart es una herramienta diseñada por Sandfor Klein, profesor de la Universidad de Wisconsin, en 1976. El objetivo de este método era simplificar el cálculo de aportación calorífica de un sistema solar térmico, así como su rendimiento. Se trata del método con un mayor grado de fiabilidad ya que el error de cálculo no alcanza el 5%. Estos cálculos se realizan mediante el programa Excel, en concreto se ha utilizado una versión del método realizada por José Luis Ramírez Marrero, diseñada para una instalación de agua caliente sanitaria. El objetivo es obtener la curva f a partir de la energía absorbida y las pérdidas totales. Esta curva muestra el porcentaje de demanda satisfecho a partir de energía solar; es decir, qué porcentaje de energía se va a conseguir ahorrar con la instalación solar.

Cálculos en los que se basa el método FChart <sup>[8]</sup>:

Primero se realiza una estimación de la carga calorífica mensual; es decir, calculamos cual va a ser la energía necesaria para satisfacer la demanda de agua mensual. Para ello necesitamos conocer la media de la temperatura de red para cada mes. La carga calorífica se calcula multiplicando el calor específico Ce

(J/kg°C) por la cantidad de agua consumida en un día C (L/día), por el número de días del mes N y por la diferencia de temperatura en grados centígrado entre la red de agua fría y el depósito de acumulación, según la siguiente fórmula:

$$Q = C_e * C * N * (t_{acumulación} - t_{red})$$

A continuación, se calculará la energía absorbida por el colector y las pérdidas en el mismo, multiplicando la superficie del colector en  $m^2$ , por el factor de la absorbancia y la transmitancia del colector  $F'_r(\tau\alpha)$ , por la radiación diaria media mensual  $R_1$  en ( $kJ/m^2$ ) y por el número de días del mes:

$$E_a = S_c * F'_r * R_1 * N$$

La superficie del colector que se utilizará para este cálculo y los que se realizarán a continuación será el resultado del área de un solo colector por el número de colectores utilizados.

También necesitamos conocer la cantidad de energía que se pierde en el colector. Para ello, necesitamos calcular el coeficiente global de pérdida del captador  $F'_r U_L$  específico del modelo de captador y proporcionado por el fabricante. Este factor será multiplicado por la superficie útil de captación en  $m^2$ , por 100 menos la temperatura media mensual en el ambiente  $t_n$  en °C, por el tiempo de funcionamiento  $\Delta T$  en segundos. A este producto, adicionalmente, hay que añadirle dos factores de corrección: un primer factor de corrección debido al almacenamiento  $K_1$  y un segundo factor de corrección para el agua caliente  $K_2$

$$E_p = S_c * F'_r U_L * (100 - t_n) * \Delta T * K_1 * K_2$$

Una vez calculada la energía absorbida y las pérdidas totales, podemos calcular la ganancia total Y, y la pérdida total X.

$$Y = \frac{E_a}{Q} \quad \text{y} \quad X = \frac{E_p}{Q}$$

A partir de las ganancias y pérdidas totales calculadas para cada mes, podemos crear el gráfico f siguiendo la siguiente fórmula:

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

Por tanto, tras estos cálculos concluimos con la cobertura solar total mensual y anual, calculada como producto entre f de cada mes y su carga calorífica correspondiente. El sumatorio de la cobertura mensual de todo el año, entre la carga calorífica de todo el año resulta en la cobertura solar anual.

$$Q_{mensual} = f * Q \quad \text{y} \quad Q_{anual} = \frac{\Sigma Q_{mensual}}{\Sigma Q}$$

Una vez obtenida la cobertura solar sabemos qué parte de la energía se produce al mes a partir de energía solar para a.c.s y la cantidad de paneles necesarios para cubrir la demanda. El volumen de acumulación se calculará en función del número de paneles necesarios. Para este cálculo se realizará el cociente entre el

volumen de acumulación y el área de captación solar, esta relación debe estar comprendido entre 50 y 80.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este método se encuentran en el Anexo III, definiendo una superficie de captación solar de  $34,8 \text{ m}^2$  lo que supone la instalación de 12 captadores en dos baterías de seis. Además, para mantener la relación volumen de acumulación-área de captación entre 50 y 80, debemos disponer de un acumulador de 1500 L, equivalente al consumo diario de a.c.s. El ahorro energético siguiendo este criterio sería del 66,3% anual.

### **5.3.2 MÉTODO FCHART PARA PRODUCCIÓN DE CALEFACCIÓN:**

Realizamos el mismo cálculo expuesto anteriormente teniendo en cuenta la demanda energética de calefacción de 69432,63 Kcal/h. Para que el precio de la instalación no alcance valores muy altos se cubrirá entorno a un 30% de la demanda calorífica. Puesto que también se utiliza el método de cálculo Fchart, las fórmulas utilizadas son iguales a las expuestas en la parte de producción de agua caliente sanitaria. En este caso la energía necesaria del sistema será la potencia de la instalación de climatización multiplicada por las horas mensuales de funcionamiento.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este método se encuentran en el Anexo III, la superficie de captación que se utilizaría en este caso sería de  $121,8 \text{ m}^2$  lo que supone la instalación de 42 captadores en siete baterías de seis. Para que se mantenga la relación volumen de acumulación-área de captación entre 50 y 80, debemos disponer de un acumulador de 7000 L, volumen muy superior al de producción de a.c.s. El ahorro energético que conseguiríamos en este caso sería del 30,8% anual.

### **5.3.3. SISTEMA CONJUNTO DE PRODUCCIÓN DE A.C.S Y CALEFACCIÓN:**

Utilizando las dos hojas de cálculo anteriores se ha realizado un cálculo conjunto de la instalación completa en la cual se producirá tanto agua caliente sanitaria como calefacción. En ella se ha utilizado una cantidad de colectores solares equivalente a la suma de ambas instalaciones. Para mantener la relación entre el volumen de acumulación y el área de captación comprendida entre 50 y 80, observamos que para la producción de a.c.s necesitamos un acumulador de 2000 litros para la producción de calefacción de 7000 litros. Sin embargo, para el sistema conjunto no necesitamos acumular el sumatorio de ambos depósitos, sino que con el volumen del acumulador de 8000 litros observamos que la relación se mantiene comprendida entre 50 y 80. Por tanto, el tamaño del depósito de acumulación del sistema final será de 8000 litros.

Los resultados en este caso se encuentran en el Anexo III, la superficie de captación que se utilizaría para la instalación conjunta sería la suma de los dos anteriores  $34,8 \text{ m}^2$  lo que supone la instalación de 56 captadores en nueve baterías de seis. El ahorro energético que conseguiríamos en este caso sería del 36,7% anual.

#### 5.4. ESTRUCTURA PARA SOPORTE Y ANCLAJE

Los paneles solares estarán ubicados en la superficie de la cubierta de la nave industrial, en nueve filas de seis intercambiadores. La dimensión del conjunto de captadores tendrá un ancho de 6,6 m para filas de seis captadores, dato obtenido del catálogo del fabricante, y un largo equivalente a la proyección horizontal de nueve filas de paneles ocupando 1,427m cada una con un espaciado mínimo entre ellos de 3,8 m. Estas medidas limitan la colocación de los paneles en la cubierta por límite de espacio. Como la nave industrial tiene una superficie de 20 x 25 m, colocar todas las baterías en fila no sería factible por falta de longitud; por tanto, se ha decidido hacer tres grupos de tres baterías de seis captadores. Con esta disposición tendremos tres grupos de captadores de 6,6 x 11,9 m, localizados en la superficie de la siguiente manera:

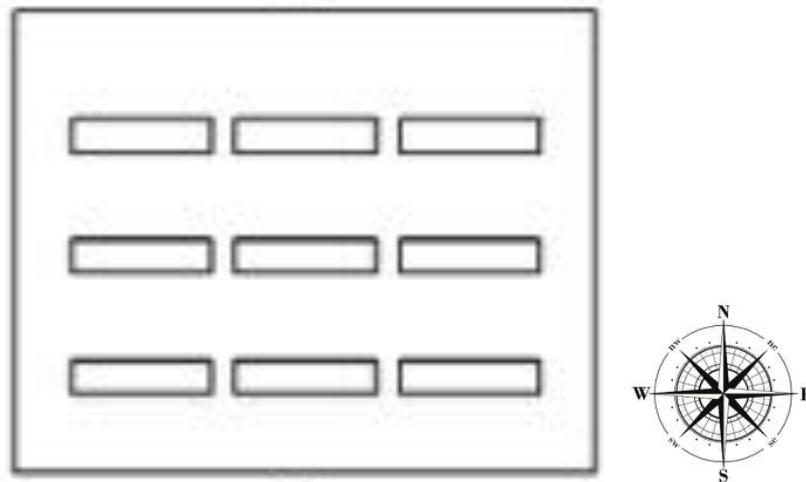


FIGURA 21. VISTA SUPERIOR NAVE CON LA DISTRIBUCIÓN DE BATERÍAS DE CAPTADORES.

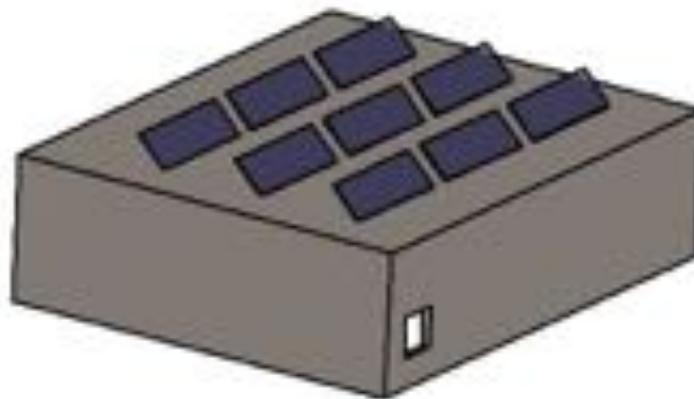


FIGURA 22. NAVE INDUSTRIAL 3D CON NUEVE BATERÍAS DE CAPTADORES

El soporte se realizará siguiendo las recomendaciones del fabricante [9], asegurándonos de que no se superan los valores de carga de nieve  $S$  y velocidad media de viento  $v_m$  recomendadas por el fabricante, que en este caso son de  $1,2 \text{ kN/m}^2$  y  $100 \text{ km/h}$  respectivamente.

Para la determinación de la carga de nieve de nuestro proyecto seguimos el criterio establecido por la Comunidad de Madrid en el Código Técnico de la Edificación [10]. En este documento se establece que para cubiertas planas en localidades de altitud inferior a  $1.000\text{m}$  se considera una carga de nieve de  $1 \text{ kN/m}^2$ . Nuestra carga de nieve cumple las especificaciones del fabricante.

Tal y como se puede ver en la figura 23, velocidad del viento en España, según la IDAE [10], no supera en ningún punto los  $100 \text{ km/h}$ ; por tanto, cumplimos esta especificación del fabricante para cualquier punto de colocación de los captadores solares en España.

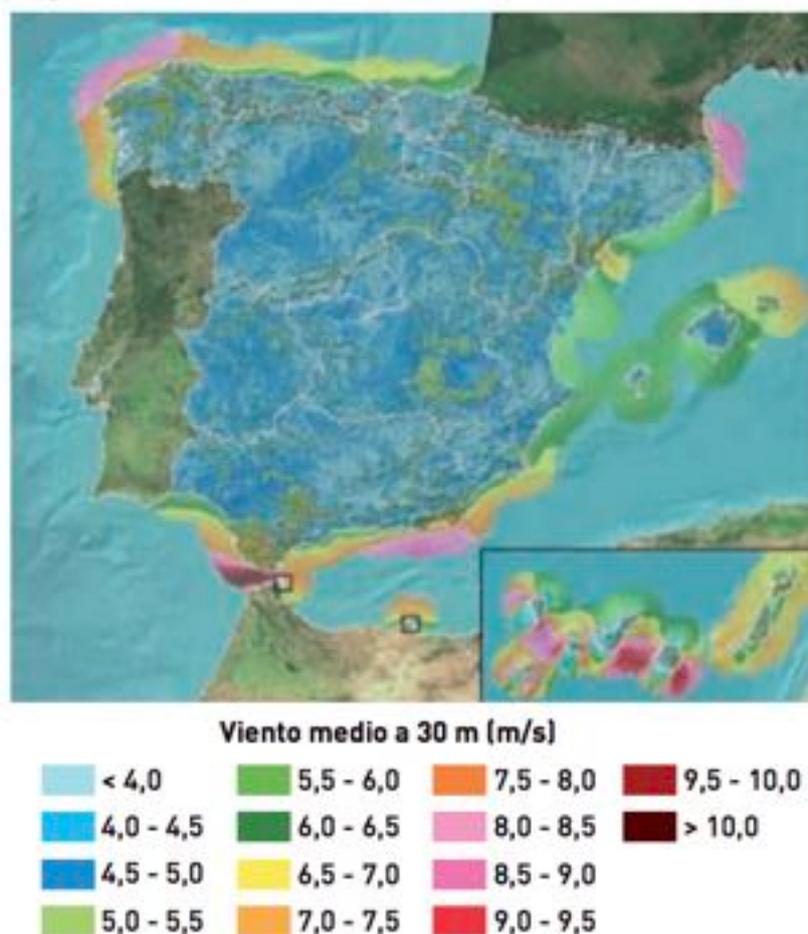


FIGURA 23. VIENTO MEDIO ANUAL A 30 M DE ALTURA. FUENTE: CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, COMUNIDAD DE MADRID.

Además, el fabricante aconseja que la distancia entre los colectores y el borde de la cubierta no debe ser inferior  $1 \text{ m}$ . En nuestra instalación la mínima distancia al borde es de  $1\text{m}$  por tanto cumple este requisito.

La estructura sobre la que se apoyan los colectores solares consta de dos barras horizontales apoyadas sobre estructuras triangulares perpendiculares a las barras, tal y como se muestra en la figura 24. El espaciamiento entre estructuras triangulares recomendada por el fabricante es la mostrada en la imagen 26; por tanto, necesitaremos un total de seis estructuras por batería de colectores. Las barras transversales se colocarán en la hipotenusa del triángulo a la altura mostrada en la Figura 24, a 125 mm de la sujeción inferior del triángulo, 75 mm por encima o por debajo del punto B.

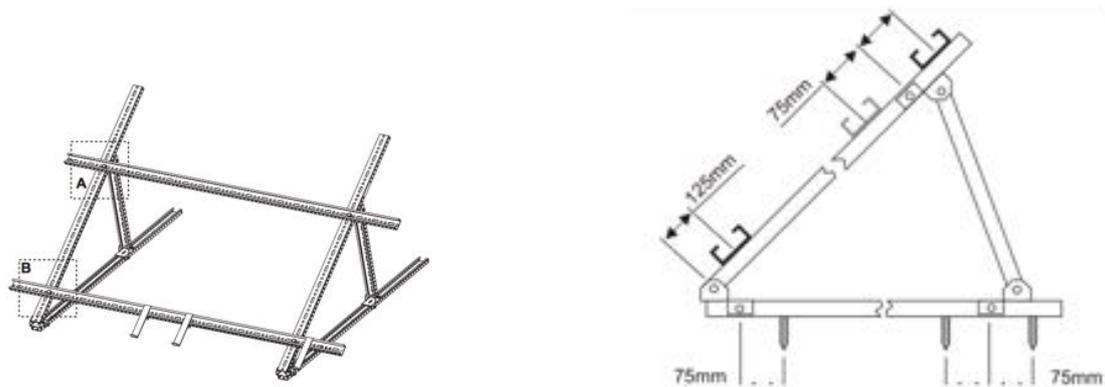


FIGURA 24. SOPORTE PANELES EN 3D Y VISTA LATERAL. FUENTE: INSTRUCCIONES DE MOTAJE VHM 2.1, CAPTADOR SOLAR COINTRA ÍCARO.

Con el fin de conseguir la inclinación deseada de 45°, el fabricante aporta una tabla de configuración de las estructuras triangulares con las medidas a las cuales se deben colocar los diferentes lados del triángulo (Figura 25).

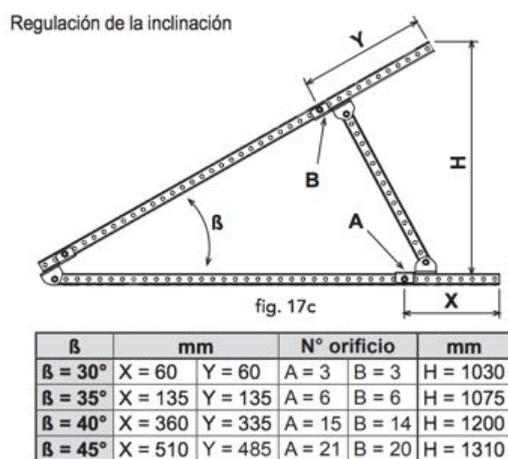


FIGURA 25. MEDIDAS DEL SOPORTE DE LOS PANELES. FUENTE: INSTRUCCIONES DE MOTAJE VHM 2.1, CAPTADOR SOLAR COINTRA ÍCARO.

La distribución de puntos de fijación de las barras a los triángulos y a los paneles solares se realiza en grupos de tres paneles solares. Estará colocada tal y como se muestra en la figura 26: espaciando las estructuras triangulares 1250 mm entre sí, dejando una distancia de 400mm en los extremos de las baterías y 800mm en el punto medio

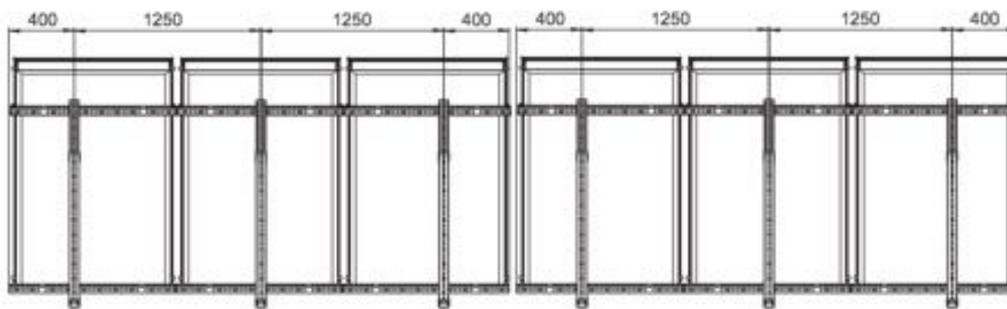


FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE PANELES SOBRE SOPORTES. FUENTE: INSTRUCCIONES DE MOTAJE VHM 2.1, CAPTADOR SOLAR COINTRA ÍCARO.

Cantidad de elementos necesarios para nuestra instalación:

Elemento	Cantidad
Kit 076226X0 (Imagen X5)	54
Barra transversal L = 3300 mm	36

Contenido del kit 076226X0



FIGURA 27. ELEMENTOS NECESARIOS PARA SOPORTE. FUENTE: INSTRUCCIONES DE MOTAJE VHM 2.1, CAPTADOR SOLAR COINTRA ÍCARO.

## 5.5 DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES

El sistema que se va a analizar en este apartado es el circuito primario y sus componentes. Tal y como se ha definido antes, se trata de un circuito cerrado con circulación forzada a través de bomba de calor e intercambiador de placas.

La instalación consta de una totalidad de 54 paneles solares, dispuestos en 9 filas de seis captadores cada una. El conexionado puede ser en serie, en paralelo o mixto; en este proyecto se elegirá una instalación de paneles en paralelo. Se ha elegido esta conexión ya que de este modo la potencia entregada por los paneles al sistema se multiplicará por el número de paneles utilizados.

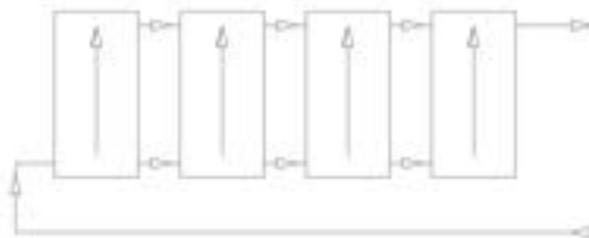


FIGURA 28. CONEXIÓN DE CAPTADORES EN PARALELO. FUENTE: GUÍA DE INSTALACIONES DE BAJA TEMPERATURA, IDAE.

## Circuito Primario:

### 5.5.1 FLUIDO CALOPORTADOR:

Fluido encargado de transmitir el calor proveniente de la energía solar al depósito de acumulación. Se trata de un circuito cerrado independiente, denominado circuito solar primario. Su función será la de recorrer el serpentín del acumulador a la temperatura necesaria para que el agua acumulada alcance la temperatura de a.c.s y calefacción. El fluido caloportador debe ser independiente del de consumo ya que no se tratará de agua. El gran problema en climas como el de Madrid con el uso de agua como fluido caloportador son las bajas temperaturas durante los meses de invierno, especialmente por la noche cuando las temperaturas alcanzan valores negativos lo que implicaría que el agua se congele. Además, es necesario tener en cuenta que la temperatura sobre la superficie del panel durante la noche será inferior a la del ambiente, factor que agrava más la situación en caso de heladas.

La principal solución a este problema es el uso de productos anticongelantes. El fluido más utilizado en instalaciones solares térmicas está compuesto por un 70% de agua y un 30% de anticongelante. Utilizando como anticongelante el propilenglicol en una proporción del 30% obtendremos una protección contra el frío a  $-15^{\circ}\text{C}$ . En el pliego de condiciones de instalaciones de baja temperatura <sup>[7]</sup> queda establecido que se debe utilizar un líquido caloportador capaz de soportar temperaturas  $5^{\circ}\text{C}$  inferiores al mínimo histórico del lugar de instalación; puesto que en Madrid el mínimo histórico es  $-16^{\circ}\text{C}$  <sup>[12]</sup> necesitamos un fluido con el porcentaje suficiente de propilenglicol para soportar temperaturas de hasta  $-21^{\circ}\text{C}$ . Tal y como se ve en la tabla 11 para este sistema necesitamos una concentración de propilenglicol mínima del 40%. Por tanto, ésta será la solución utilizada en nuestro sistema solar para el circuito primario: 60% agua y 40% propilenglicol. La razón por la que hemos elegido este anticongelante es por su baja toxicidad y por tener una densidad similar al agua.

TABLA 11. PUNTO DE CONGELACIÓN DE PROPILENGLICOL A DIFERENTES CONCENTRACIONES. FUENTE: [WWW.SENIGRUP.BLOGSPOT.COM/2008/10/TABLA-CONGELACION-PROPILENGLICOL.HTML](http://WWW.SENIGRUP.BLOGSPOT.COM/2008/10/TABLA-CONGELACION-PROPILENGLICOL.HTML)

% Propilenglicol	Hasta $^{\circ}\text{C}$
0%	0
10%	-3
20%	-8
30%	-14
40%	-22
50%	-34
60%	-48
100%	-59

Caudal que utilizaremos en esta instalación tal y como queda definido por el catálogo del fabricante de los captadores:

TABLA 12. PERDIDA DE CARGA MEDIA POR CAPTADOR PARA DIFERENTES CAUDALES. FUENTE: CATÁLOGO VHM 2.1, CAPTADOR SOLAR COINTRA ÍCARO.

Pérdida carga estimada media por captador*				
Caudal (litros/min captador)	3	2	1	0
Pérdida de carga (Pa)	2500	1650	1000	0

El caudal de fluido caloportador que utilizaremos por recomendación del fabricante será de 2 L/min por captador de manera tal que, al tener una captación de 54 paneles, el caudal total resultaría en 6480 L/h de fluido caloportador.

$$Q_{\text{primario}} = 6480 \text{ L/h}$$

### 5.5.2 TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO:

Las tuberías del sistema primario serán de cobre por su alta resistencia a la corrosión y su reducido coste. Con el objetivo de minimizar la pérdida de carga en tuberías, se dispondrán de tal manera que la longitud de las tuberías sea lo más pequeña posible para minimizar la pérdida de carga.

El diámetro de la tubería de los captadores viene definido en el catálogo como tuberías de cobre de diámetro 20 mm.

Para el cálculo del diámetro del resto de tuberías es necesario conocer el caudal que va a atravesar cada tramo. Tal y como se ha explicado previamente, esta instalación tendrá un caudal total de 6480 L/h. Como tenemos nueve baterías de captadores, el caudal que se dirigirá a cada batería será de 720 L/h; ésta será la pérdida de caudal del circuito primario a medida que realiza el recorrido.

La disposición de la red de tuberías del circuito es la siguiente:

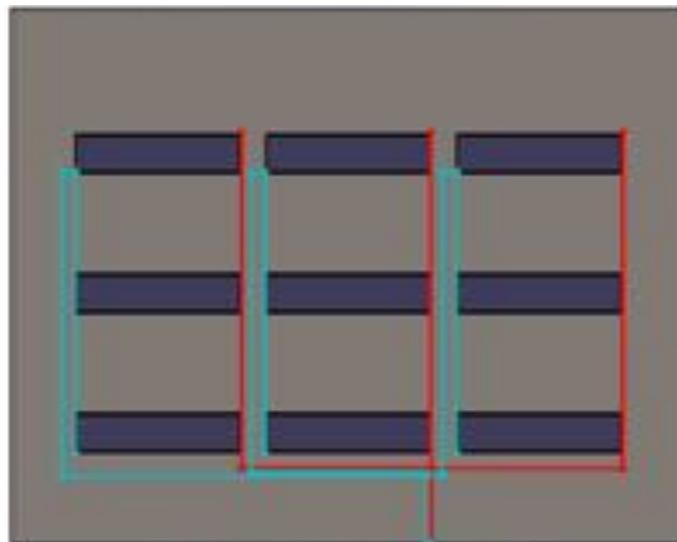


FIGURA 29. RED DE TUBERÍAS DESDE LA VISTA SUPERIOR DE LA NAVE.

Para instalaciones solares es recomendable limitar la pérdida de presión en las tuberías a 40 mm.c.a. Teniendo esto en cuenta, y conocidos los caudales de cada parte del circuito, obtendremos las tuberías necesarias mediante la figura 30.

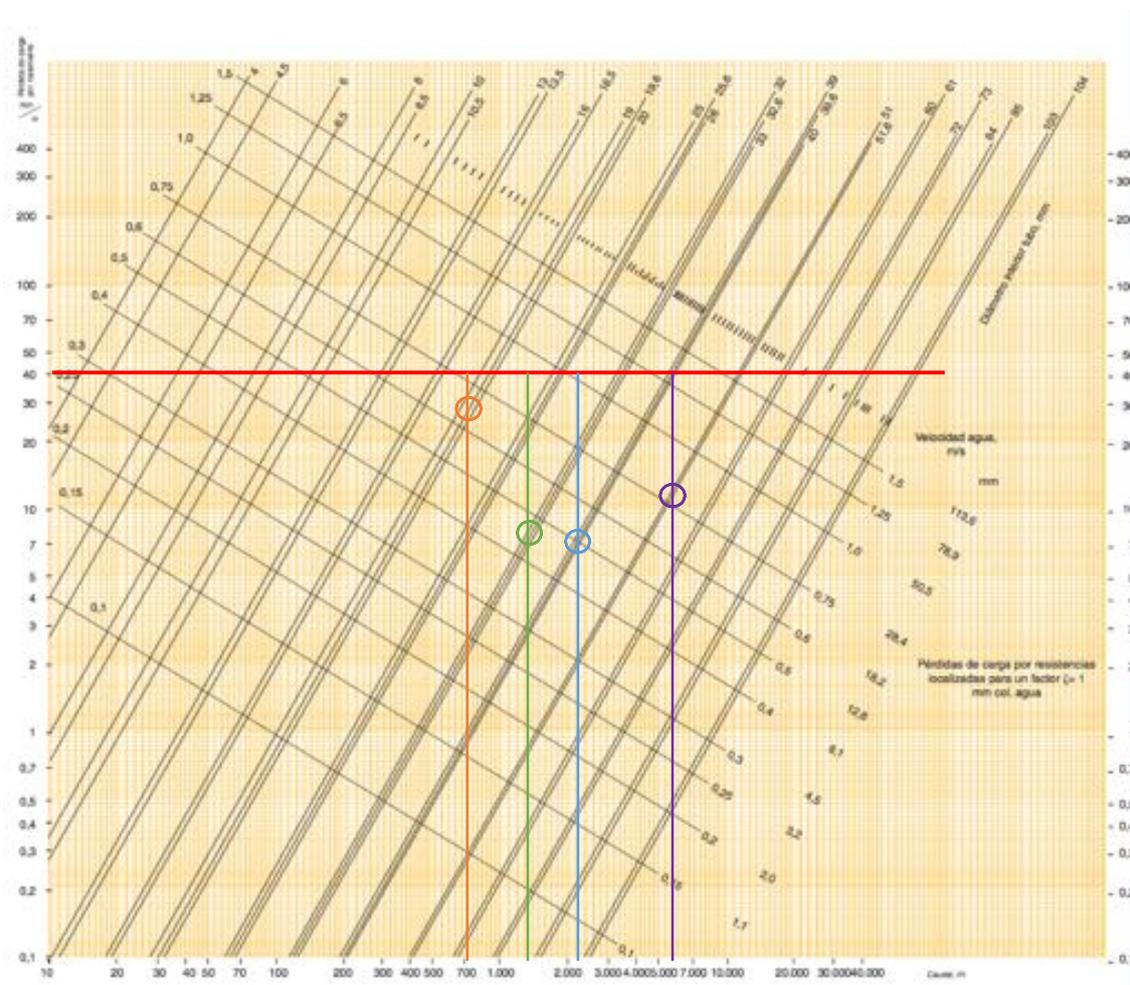


FIGURA 30. DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE CARGA EN TUBOS DE COBRE PARA UNA TEMPERATURA DEL FLUIDO DE 45°. FUENTE: LA ELECCIÓN PROFESIONAL, CENTRO ESPAÑOL DE INFORMACIÓN DEL COBRE (CEDIC)

Puesto que nuestra instalación utilizará agua a 60°C se debe aplicar un factor de corrección en el cálculo de pérdida de carga definido en la tabla 13.

TABLA 13. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURA DISTINTA DE 45°. FUENTE: LA ELECCIÓN PROFESIONAL, CENTRO ESPAÑOL DE INFORMACIÓN DEL COBRE (CEDIC)

Temperatura del agua °C	5	10	40	45	50	60	70	80	100	120
Factor de corrección	1,24	1,18	1,02	1,00	0,99	0,96	0,94	0,92	0,91	0,90

Obtenemos la siguiente tabla de resultados. En dicha tabla no se incluye el factor de corrección de 0,96; este valor se multiplicará directamente al sumatorio de cargas:

TABLA 14. CÁLCULO DE TUBERÍAS CIRCUITO PRIMARIO DE LA INSTALACIÓN SOLAR

Tramo	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Caida de presión (mm.c.a/m)	Longitud tubería (m)	Perdida de carga (mm.c.a)
Circuito de fluido caliente						
1-2; 5-6; 8-9	720	20	0,67	28	5,24	146,72
2-3; 6-7; 9-10	1440	33	0,44	7	5,24	36,68
3-4; 10-4	2160	40	0,5	6	7,06	42,36
7-4	2160	40	0,5	6	1,93	11,58
4-11	6480	51	0,76	12	2	24
Circuito de fluido frio						
1-2; 5-6; 8-9	720	20	0,67	28	5,24	146,72
2-3; 6-7; 9-10	1440	33	0,44	7	5,24	36,68
3-4	2160	40	0,5	6	17,1	102,6
7-4	2160	40	0,5	6	18,03	108,18
10-4	2160	40	0,5	6	10,97	65,82
4-11	6480	51	0,76	12	2	24

$$\Delta P_{tuberías} = \Sigma \Delta P_{tramos} = 0,96 * 745,34 \text{ mm.c.a} = 7.016,92 \text{ Pa}$$

Además, la instalación constará de elementos intermedios como codos y Ts. La pérdida de carga debida a estos elementos se supondrá igual al 50% de la pérdida de carga en las tuberías.

$$\Delta P_{intermedio} = 0,5 * 7.016,92 \text{ Pa} = 3.508,46 \text{ Pa}$$

### **5.5.3 BOMBA DE CIRCULACIÓN CIRCUITO PRIMARIO:**

Es el elemento encargado de asegurar la circulación forzada a través del circuito. Para evitar el trabajo de la bomba con agua de circulación a temperatura muy elevada, colocaremos la bomba de calor en la zona de agua más fría del circuito

primario. Puesto que nuestra superficie de captación es superior a  $50 m^2$ , siguiendo el criterio de la guía técnica de instalaciones de baja temperatura de la IDAE [7], se instalarán dos bombas iguales conectadas en paralelo funcionando de manera alternativa.

Para calcular la potencia necesaria para la bomba, es necesario calcular la pérdida de carga total del circuito primario. Esta pérdida de carga está compuesta por la pérdida en las tuberías y en los elementos intermedios calculadas en el apartado anterior, a lo que tenemos que añadir las pérdidas en los colectores y en el intercambiador de calor.

La pérdida de carga individual del colector es de 1650 Pa. Este dato lo proporciona el fabricante según el caudal que recorre el colector. Puesto que los captadores están dispuestos en paralelo, la pérdida de carga por batería de captadores es la equivalente a un único captador, al tener nueve baterías de seis captadores:

$$\Delta P_{total\ captadores} = 9 * 1.650 Pa = 14.850 Pa$$

La pérdida de carga en el intercambiador no viene definida en el catálogo, como un valor máximo de 6 m.c.a. Tomaremos este valor realizando un cálculo conservador.

$$\Delta P_{intercambiador} = 6 m. c. a = 58.838,3 Pa$$

El sumatorio de todas las pérdidas de carga calculadas es la pérdida de carga total:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{tuberías} + \Delta P_{intermedio} + \Delta P_{captadores} + \Delta P_{intercambiador} = 84,2 kPa$$

Una vez calculada la pérdida de carga de todo el circuito primario y conociendo el caudal que atravesará la bomba de 1,8 l/s, la potencia de la bomba será de:

$$P_{Bomba} = Q * \Delta P_{total} = 1,8 * 84,2 = 151,56 W$$

Utilizando el calculador de bombas de Grundfos, se ha calculado que para cumplir con la potencia requerida y teniendo en cuenta que la bomba se encontrará a la misma altura que los captadores solares, se utilizará el modelo UPS 32-8160 F. Ficha técnica en Anexo IV.



FIGURA 31. BOMBA DE CIRCULACIÓN MODELO UPS 32-8160 F. FUENTE: GRUNDFOS

#### 5.5.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR:

Es el elemento del sistema encargado de la transferencia de calor entre el circuito primario de captación solar y el secundario. En nuestro sistema se trata de un sistema externo mediante un intercambiador de placas localizado entre los dos circuitos. El fluido caloportador circulará por el circuito primario hasta alcanzar el intercambiador donde habrá una transferencia de calor hacia el circuito secundario y el agua de este circuito llegará hasta el acumulador. Se ha decidido utilizar un intercambiador exterior debido al gran volumen de acumulación de este proyecto.

Según la CTE <sup>[7]</sup> el intercambio de calor que tiene lugar en el intercambiador debe alcanzar un valor mínimo de  $500 \text{ W/m}^2$  con respecto al área de captación. No obstante, se aplicará un factor de seguridad del 20%, buscando un intercambio de calor de  $600 \text{ W/m}^2$ .

Puesto que tenemos un área de captación de  $156,6 \text{ m}^2$  la potencia de diseño del intercambiador será:

$$P_{intercambio} = 600 * 156,6 = 93,96 \text{ kW}$$

El intercambiador elegido será un intercambiador de placas compacto de la marca Lapesa con potencia de 140kW. Ficha técnica en el Anexo IV.

Supondremos una temperatura de entrada hacia el intercambiador desde el acumulador de  $50^\circ\text{C}$ , la temperatura de salida será:

$$P_{secundario} = 6,48 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * 1020 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 1,16 \left( \frac{\text{Wh}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) * (T_{salida} - 50^\circ\text{C}) = 140 \text{ kW}$$

$$T_{salida} = 68,26^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{secundario} = 18,3^\circ\text{C}$$

$$P_{primario} = P_{secundario}$$

$$Q * Cp_{primario} * \Delta T_{primario} = Q * Cp_{secundario} * \Delta T_{secundario}$$

$$0,88 * \Delta T_{primario} = \Delta T_{secundario}$$

$$\Delta T_{primario} = 20,75^\circ\text{C}$$



FIGURA 32. INTERCAMBIADOR DE PLACAS COMPACTO LAPESA. FUENTE: LAPESA

### Circuito secundario:

#### 5.5.5 FLUIDO DEL CIRCUITO SECUNDARIO:

El fluido que recorrerá el circuito secundario será el agua de consumo de a.c.s. El acumulador estará conectado a la red de agua fría por donde entrará agua potable apta para consumo humano que circulará por el intercambiador de calor, aumentando su temperatura a partir del calor captado del fluido caloportador a través del intercambiador de calor. Con el fin de optimizar el funcionamiento del intercambiador de calor el caudal del circuito secundario será igual al del circuito primario.

$$Q_{primario} = 6480 \text{ L/s}$$

#### 5.5.6 TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO:

La red de tuberías del circuito secundario, consistirá en el trayecto de ida desde el intercambiador de calor hasta el acumulador y su retorno. El intercambiador de calor estará localizado a un metro del límite de la fachada; por tanto, su longitud será de un total de ocho metros: uno hasta el límite y otros siete correspondientes a la altura de la nave.

Para obtener los datos de la tabla 15 se ha utilizado el diagrama de la figura 30.

TABLA 15. CÁLCULO DE TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO DE LA INSTALACIÓN SOLAR

Tramo	Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Caida de presión (mm.c.a/m)	Longitud tubería (m)	Perdida de carga (mm.c.a)
Circuito de fluido caliente						
4-0	6480	51	0,76	12	8	96
Circuito de fluido frio						
4-0	6480	51	0,76	12	8	96

La pérdida de carga en la red de tuberías del circuito secundario es, con un factor de corrección por temperatura del agua de 0,96 será:

$$\Delta P_{tuberías} = \Sigma \Delta P_{tramos} = 0,96 * 192 \text{ mm. c. a} = 1.807,56 \text{ Pa}$$

Al igual que en circuito primario consideraremos unas pérdidas por elementos intermedios del 50%

$$\Delta P_{intermedio} = 0,5 * 1.807,56 \text{ Pa} = 903,78 \text{ Pa}$$

### 5.5.7 BOMBAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO:

En el circuito secundario también será necesario utilizar una bomba, al igual que en el circuito primario. Se colocará en el lugar por donde circule el agua a menor temperatura; es decir, en el tramo de tubería anterior a la entrada al intercambiador. Al igual que en circuito primario, se utilizarán dos bombas conectadas en paralelo y funcionando alternativamente.

$$\Delta P_{tuberías} = 1.807,56 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{intermedio} = 903,78 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{intercambiador} = 58.838,3 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{tuberías} + \Delta P_{intermedio} + \Delta P_{captadores} + \Delta P_{intercambiador} = 61,5 \text{ kPa}$$

$$P_{Bomba} = 1,8 * \Delta P_{total} = 1,8 * 61,5 = 110,7 \text{ W}$$

La bomba de circulación se ha elegido utilizando el calculador de bombas de Grundfos, y teniendo en cuenta que la diferencia de altura entre la bomba y el intercambiador de calor es de 7 metros, utilizaremos el modelo MAGNA1 65-150 F.



FIGURA 33. BOMBA DE CIRCULACIÓN MODELO MAGNA1 65-150 F. FUENTE: GRUNDFOS

### 5.5.6 ACUMULADOR:

Siguiendo las recomendaciones de la IDAE [7] utilizaremos un acumulador solar vertical con una relación altura/diámetro superior a 2. Se acumulará el agua a una temperatura en torno a 60°C y 70°C ya que se utilizará a 60° necesitando alcanzar los 70°C para prevenir la Legionelosis. Debido al gran volumen de almacenamiento de nuestra instalación es necesario instalar dos acumuladores

solares ya que un solo acumulador no tiene la capacidad de almacenamiento de 8.000 L. Se instalarán, por tanto, dos acumuladores de 4.000 L cada uno y una disposición vertical ya que de ese modo reduciremos la estatificación.

El interconexionado entre depósitos de acumulación puede ser en serie o en paralelo. En este proyecto, y siguiendo el criterio del Pliego de Condiciones de Instalaciones de Baja Temperatura <sup>[7]</sup>, se conectarán en serie invertida con el circuito de consumo. Esta conexión implica una salida de agua caliente por la parte superior del acumulador más cercano al intercambiador, le llamaremos acumulador A, y una entrada de agua fría de red por la parte inferior del acumulador B.

El acumulador A dispondrá de tres puntos de conexión:

- Un punto de entrada de agua caliente proveniente del intercambiador de calor y situado en la parte lateral superior del intercambiador.
- Una salida de agua hacia el segundo acumulador por la parte inferior del acumulador.
- Una salida de agua caliente hacia el circuito de distribución de agua caliente sanitaria y calefacción que se realizará por la parte superior del acumulador.

El acumulador B dispondrá de cuatro puntos de conexión:

- Un punto de entrada de agua caliente proveniente del acumulador A. Esta entrada se realizará por la parte superior del acumulador
- Un punto de entrada de agua fría de red por la parte inferior del acumulador.
- Una entrada de agua de retorno del circuito de calefacción. Este punto se encontrará en el lateral inferior del acumulador.
- Una salida de agua hacia el intercambiador de calor para volver a captar calor y acceder al acumulador A.

El objetivo que se busca con esta distribución de puntos de salida y entrada es dirigir el agua de máxima temperatura hacia la parte superior del acumulador A, punto por el cual abandona el depósito hacia el circuito de calefacción y a.c.s, y la acumulación de agua fría en la parte inferior del acumulador B, desde donde el agua será recirculada hacia el intercambiador de calor.

El modelo utilizado para ambos acumuladores será MVV 4000-RB de Buderus. Ficha técnica en el Anexo IV.

#### **5.5.6 PURGADORES Y DESAIREADORES:**

La función de los purgadores es la de permitir la evacuación del aire acumulado del circuito. Los purgadores deben ser colocados en los puntos más altos de la instalación para asegurar el funcionamiento con la máxima eficacia. Además, es necesario añadir conjuntamente botellines de desaireación cuya función es la de asegurar que los gases del fluido son evacuados por el purgador.

### 5.5.7 DEPÓSITO DE EXPANSIÓN:

La función de los vasos de expansión, es la de absorber los incrementos de volumen del fluido caloportador a causa de la temperatura. Al aumentar el volumen del fluido caloportador es necesario este espacio adicional donde almacenar el volumen de fluido sobrante.

El volumen del depósito de expansión se calcula como:

$$V = V_T * (0,2 + 0,01 * h)$$

Siendo:

$V_T$ : el volumen del circuito primario en litros

$h$ : la diferencia de altura entre el depósito de expansión y los captadores.

En este caso el depósito de expansión estará situado en la cubierta junto a los acumuladores solares por tanto la altura será cero.

Tenemos que calcular el volumen de fluido caloportador del circuito primario, teniendo en cuenta el volumen en los captadores solares, en el intercambiador y en las tuberías. Para ello utilizaremos el diámetro de cada tubería y su longitud, y se calculará según:

$$V_T = \Sigma(\pi * R^2 * L)$$

**TABLA 16. VOLUMEN DE FLUIDO EN EL CIRCUITO PRIMARIO SOLAR PARA EL CÁLCULO DE VASO DE EXPANSIÓN.**

Tramo	Diámetro (mm)	Longitud tubería (m)	Longitud total (m)	Volumen (l)
1-2; 5-6; 8-9	20	5,24	15,72	4,94
2-3; 6-7; 9-10	33	5,24	15,72	13,4
3-4; 10-4	40	7,06	14,12	17,7
7-4	40	1,93	1,93	2,4
4-11	51	2	2	4
1-2; 5-6; 8-9	20	5,24	15,72	4,94
2-3; 6-7; 9-10	33	5,24	15,72	13,4
3-4	40	17,1	17,1	21,5
7-4	40	18,03	18,03	22,7
10-4	40	10,97	10,97	13,8

4-11	51	2	2	4
------	----	---	---	---

Sumando los valores anteriores obtenemos:

$$V_{Tuberías} = 122,78 L$$

$$V_{captadores} = 54 * 0,85 = 45,9 L$$

De modo que el volumen del depósito de expansión será:

$$V = 168,68 * (0,2 + 0,01 * 0) = 33,7 L$$

Se utilizará un vaso de expansión especial para instalaciones solares de capacidad 35 litros, modelo 35 SMR-P. Ficha técnica en Anexo IV.



FIGURA 34. VASO DE EXPANSIÓN MODELO 35 SMR-P. FUENTE: IBAIONDO

### 5.5.8 AISLAMIENTO:

El aislamiento depende del diámetro de la tubería, estando comprendido entre 20mm y 40mm de espesor.

Las tuberías que se comprarán para este proyecto incluyen el aislante elegido por el fabricante:

- El conducto de los captadores solares de diámetro 19mm viene aislado mediante un recubrimiento de lana de roca de alta densidad con espesor 40mm.
- Las tuberías vienen aisladas mediante un recubrimiento de poliuretano de celdas cerradas que presenta una conductividad térmica de 0,026 W/mk.

### 5.5.9 REGULACIÓN Y CONTROL DE LA INSTALACIÓN:

- Sistema de control: elemento necesario para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación, se revisará el correcto funcionamiento del circuito primario y secundario, así como la temperatura del sistema para prevenir heladas y sobrecalentamientos. La función del módulo de control diferencial (MCD) es la de comparar la temperatura a la salida de los captadores de calor; es decir, en el punto más caliente de la instalación, con la temperatura en el acumulador. Este sistema se encargará de controlar el funcionamiento de las bombas, haciendo que se pongan en marcha cuando se supere una diferencia de temperatura de 7 °C entre los dos puntos.
- Sistema de monitorización: este tipo de sistemas funciona sobre las condiciones del agua dentro del acumulador y en el sistema de calor solar. Es necesario el uso de sistemas de monitorización para instalaciones de tamaños superior a 20 m<sup>2</sup>. Su función es la de dar información de las condiciones a lo largo del sistema solar y acumulación. El sistema de monitorización de nuestra instalación indicará:
  - Temperatura de entrada de agua fría de red
  - Temperatura de salida del acumulador solar
  - Caudal de agua fría de red.

Se elige un sistema de control capaz de realizar también la motorización de temperaturas y caudales de la instalación. El sistema de control que se utilizará en esta instalación será el modelo Central Solar Termix Plus de la marca Cointra. Ficha técnica en el Anexo IV.



FIGURA 35. CENTRAL SOLAR TERMIX PLUS. COINTRA.



## 6. Instalación geotérmica

### 6.1 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

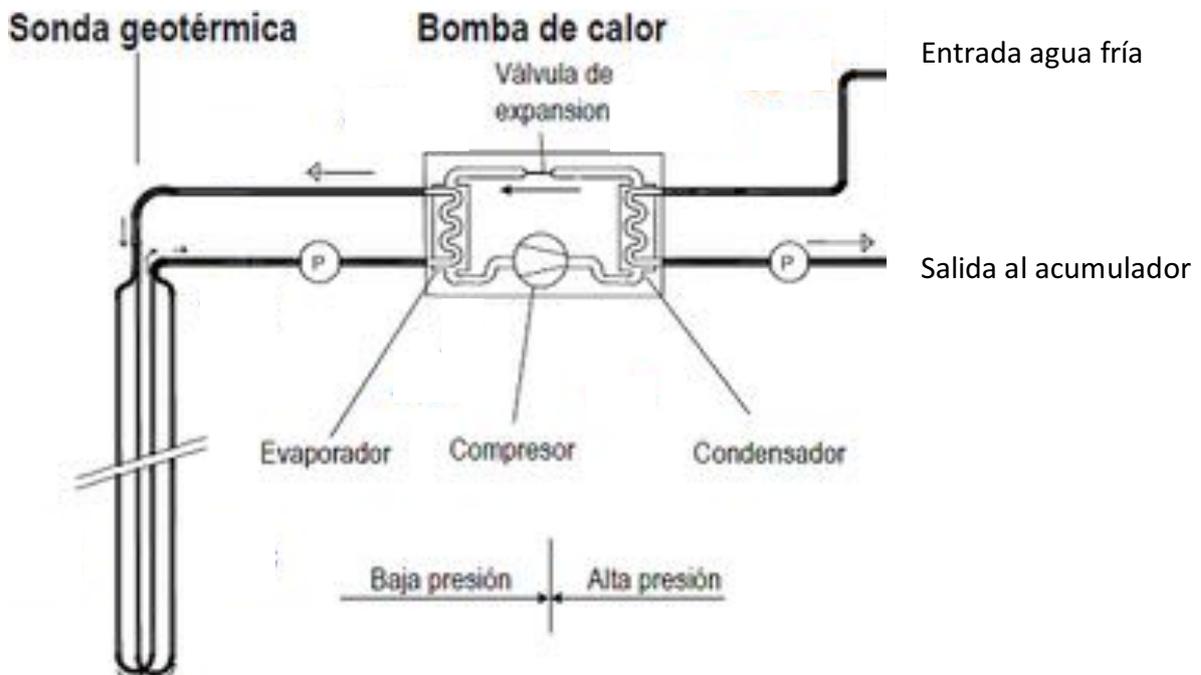


FIGURA 36. ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA POR MEDIO DE BOMBA DE CALOR. FUENTE: REHAU.

La instalación de energía geotérmica tendrá la función de aportar energía a la red de agua fría antes de entrar en el acumulador, de tal manera que el agua a su entrada en el acumulador haya recibido un incremento de temperatura. Este aporte de energía permitirá un ahorro del consumo de las calderas ya que el sistema geotérmico trabajará en conjunto con el sistema solar térmico, incrementando el porcentaje de consumo energético de la nave industrial satisfecho por energías renovables.

Existen sistemas de energía geotérmica capaces de cubrir un alto porcentaje de la demanda energética del local. No obstante, en este proyecto el sistema geotérmico pretende tan solo representar un apoyo a la instalación solar. Como modo de precalentamiento del agua se instalará una bomba de calor geotérmica que no cubra más del 25% de la demanda, la razón de esto es el alto precio de la instalación. Se realizará un estudio con diferentes potencias de bomba de calor para elegir la potencia más óptima sin incrementar en exceso el coste del sistema.

El sistema geotérmico consta de dos circuitos interconectados por la bomba de calor geotérmica:

- Sistema de captación: está constituido por sondas verticales o horizontales subterráneas, cuya función es la de extraer calor proveniente del subsuelo utilizando un fluido caloportador, entrará en la bomba de calor. Nuestro sistema utilizará captación de calor mediante sondas verticales con circuito cerrado.
- Sistema de distribución: este circuito recibe el calor procedente del subsuelo que tras atravesar la bomba de calor en la que tiene lugar un intercambio calórico usando un fluido frigorífico, entrega esta energía al sistema de distribución. El ramal de agua fría que entra en la batería vendrá de la red de agua fría y, una vez calentado, accederá al acumulador B por la parte inferior.

## **6.2 PROPIEDADES TÉRMICAS DEL TERRENO:**

El sistema geotérmico de captación se ve directamente afectados por las propiedades térmicas del terreno, no solo por la temperatura que habrá en el subsuelo sino también por el tipo de configuración rocosa que se encuentra, ya que de todos estos factores dependerá el intercambio de calor entre el suelo y la sonda geotérmica. La gran importancia de las características del espacio hace necesario realizar un estudio térmico del entorno. El grado de profundidad y complejidad de este estudio depende de la potencia de la instalación que se pretende instalar. Para instalaciones de potencia inferior a 30 kW el estudio resulta más sencillo ya que es posible realizar estimaciones sin un impacto importante en los resultados finales; sin embargo, para instalaciones de mayor potencia, una pequeña variación en la precisión de los resultados puede tener un impacto considerable especialmente a nivel de pérdidas económicas. Para instalaciones con potencias superiores a 30 kW es necesario realizar un test de respuesta térmica (TRT) según

Los factores que afectan al sistema de captación de energía geotérmica son los siguientes:

- Temperatura superficial: este factor afecta únicamente a la captación por medio de sondas horizontales, ya que, al no encontrarse a una profundidad de temperatura estable, se aprecia una variación de temperatura a lo largo del año que afecta a la captación de calor de la sonda. El efecto de la temperatura superficial sobre la temperatura del subsuelo a cierta profundidad se puede observar en la figura 37, donde se ve el gran cambio de temperatura entre invierno y verano para instalaciones de menos de cinco metros de profundidad.
- Temperatura a profundidades superiores a 100 metros: la temperatura del subsuelo varía durante invierno y verano hasta una profundidad de 20 metros donde tiene lugar un equilibrio de las temperaturas a lo largo de todo el año alcanzándose una temperatura estable equivalente a la temperatura media del ambiente en la ubicación. A partir de los 100 metros de profundidad tiene lugar un pequeño incremento de temperaturas del orden de 3°C cada 100 metros.

Se ha realizado un estudio de la evolución de la temperatura del subsuelo en función de la profundidad para la ubicación de nuestra instalación, los resultados se pueden observar en la figura 37.

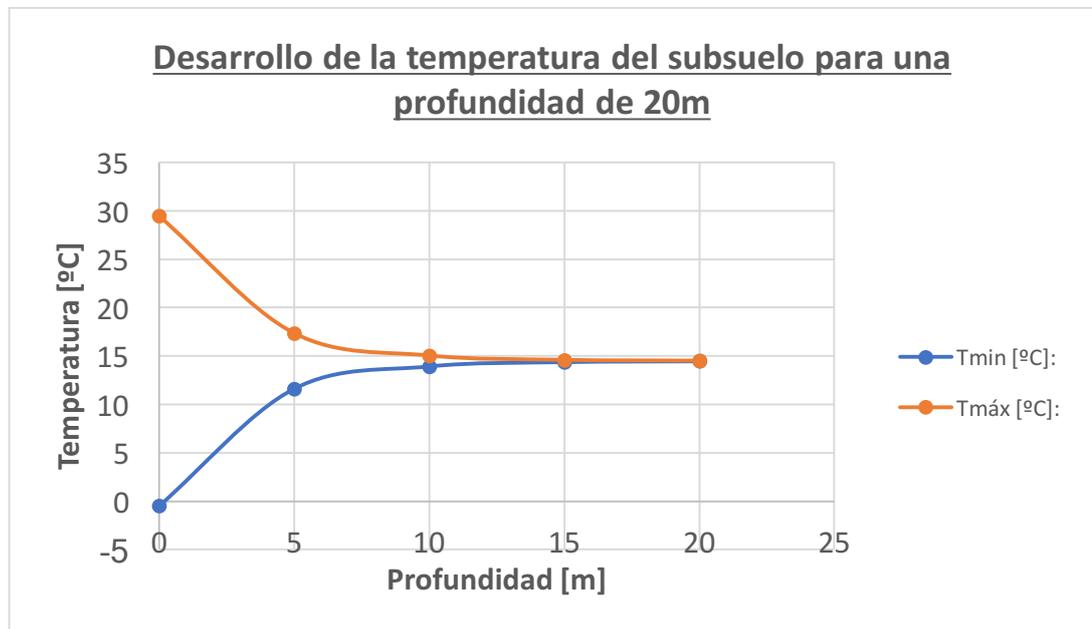


FIGURA 37. GRÁFICO REALIZADO CON EXCEL DE LA TEMPERATURA DEL SUBSUELO SEGÚN LA PROFUNDIDAD EN ROBLEDO DE CHAVELA.

- Conductividad térmica del terreno: este factor define la capacidad del suelo para transferir calor, o lo que es lo mismo, el reparto de calor a lo largo del suelo. Este factor depende de la humedad del suelo, siendo mayor cuanto más húmedo es el terreno y el tipo de roca por el que está compuesto. Se debe realizar un estudio del subsuelo previo a la perforación de la sonda geotérmica para definir la estructura del mismo, y siguiendo los valores establecido por la IDAE en la Guía Técnica de Diseño de Instalaciones Geotérmicas de Circuito Cerrado <sup>[13]</sup>, en la tabla 17.

Se obtendrá un valor de conductividad térmica, que será mayor o menos según el grado de humedad.

TABLA 17. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SEGÚN TIPO DE ROCA DEL SUELO. FUENTE: GUÍA TÉCNICA DE DISEÑO DE INSTALACIONES GEOTÉRMICAS DE CIRCUITO CERRADO, IDAE.

Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mK)			Capacidad térmica volumétrica (MJ/m <sup>3</sup> K)
	Mín.	Valor típico	Máx.	
<b>Rocas magmáticas</b>				
Basalto	1,3	1,7	2,3	2,3-2,6
Diorita	2	2,6	2,9	2,9
Gabro	1,7	1,9	2,5	2,6
Granito	2,1	3,4	4,1	2,1-3,0
Peridotita	3,8	4	5,3	2,7
Riolita	3,1	3,3	3,4	2,1
<b>Rocas metamórficas</b>				
Gneis	1,9	2,9	4	1,8-2,4
Mármol	1,3	2,1	3,1	2
Metacuarcita		aprox. 5,8		2,1
Mica esquistos	1,5	2	3,1	2,2
Esquistos arcillosos	1,5	2,1	2,1	2,2-2,5
<b>Rocas sedimentarias</b>				
Caliza	2,5	2,8	4	2,1-2,4
Marga	1,5	2,1	3,5	2,2-2,3
Cuarcita	3,6	6	6,6	2,1-2,2
Hallita	5,3	5,4	6,4	1,2
Arenisca	1,3	2,3	5,1	1,6-2,8
Limolitas y argilitas	1,1	2,2	3,5	2,1-2,4
<b>Rocas no consolidadas</b>				
Grava, seca	0,4	0,4	0,5	1,4-1,6
Grava, saturada de agua		aprox. 1,8		aprox. 2,4
Arena, seca	0,3	0,4	0,8	1,3-1,6
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5	2,2-2,9
Arcilla/limo, seco	0,4	0,5	1	1,5-1,6
Arcilla/limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3	1,6-3,4
Turba	0,2	0,4	0,7	0,5-3,8
<b>Otros materiales</b>				
Bentonita	0,5	0,6	0,8	aprox. 3,9
Hormigón	0,9	1,6	2	aprox. 1,8
Hielo (-10°C)		2,32		1,87
Plástico (PE)		0,39		
Aire (0 - 20 °C, seco)		0,02		0,0012
Acero		60		3,12
Agua (+ 10 °C)		0,58		4,19

Para el estudio de nuestra instalación hemos accedido hemos utilizado un mapa básico de los suelos de España (Figura 38).



FIGURA 38. MAPA DEL TERRENO ESPAÑOL. FUENTE: MAPA REALIZADO POR JOAQUÍN MURCIA LÓPEZ

Tal y como se puede ver, Madrid se trata de un área de predominio de terrenos arcillosos y por tanto utilizaremos la conductividad térmica correspondiente a esquistos arcillosos en la figura 38.

$$\text{Conductividad térmica} = 2,1 \text{ W/mk}$$

- Difusividad térmica del terreno: este valor se obtendrá a partir de la conductividad térmica y la capacidad térmica del terreno. Tal y como hemos obtenido previamente la conductividad térmica de nuestro terreno es de 2,1 W/mk y la capacidad térmica de 2,3 MJ/m<sup>3</sup>K por tanto la difusividad térmica se calculará como:

$$\text{Difusividad térmica} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) = \frac{\text{Conductividad térmica} \left( \frac{\text{W}}{\text{mk}} \right)}{\text{Capacidad térmica} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3\text{K}} \right)} * 10^{-6}$$

Mediante este cálculo obtenemos una conductividad térmica de 9,13 \* 10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s valor equivalente a 0,0788 m<sup>2</sup>/día.

- Resistencia térmica del terreno: se trata del valor inverso de la conductividad térmica del terreno, por tanto, para nuestra ubicación:

$$\text{Resistencia térmica del terreno} = 0,476 \text{ K m/W}$$

### **6.3 CÁLCULOS:**

Debido a la funcionalidad de esta instalación geotérmica específica, el estudio que se pretende realizar es de optimización de la relación entre el aporte energético y el precio de la instalación. Los cálculos que se realizarán mostrarán el porcentaje de demanda energética total cubierto por medio de la instalación para bombas de calor de diferente potencia.

Se ha considerado que las perforaciones para el sistema de captación han sido realizadas previamente en el momento de construcción de la nave industrial dentro de los cuatro tabiques principales de sujeción, localizados en las cuatro esquinas de la nave industrial. Estas perforaciones tienen una profundidad de 100 m por lo que ésta será la profundidad de nuestros captadores.

Debemos tener en cuenta que según la potencia de la bomba de calor variará la longitud de los captadores; por tanto, para cada bomba que se analice se calculará:

- Cálculo de ahorro energético
- Dimensionado de la instalación de calor.
- Rendimiento de la instalación

Se utilizarán bombas geotérmicas de Clausius para el que se analizará el modelo flexoTHERM de diferentes potencias. Ficha técnica en el Anexo IV.

Debido al gran volumen de cálculo repetitivo para cada modelo, se diseñará una hoja de cálculo con el programa Excel para agilizar el cálculo.

Los cálculos se realizarán siguiendo el criterio expuesto en la Guía Técnica de Sistemas de Intercambio Geotérmico de Circuito Cerrado de la IDEA <sup>[13]</sup>. A pesar de que en esta guía se realizan los cálculos como uso de calefacción y refrigeración, en este proyecto solamente se usará como aportación de calor; por tanto, solamente calcularemos la parte de producción de calor.

#### **6.3.1 CÁLCULO DE AHORRO ENERGÉTICO:**

Para cada una de las bombas que vamos a analizar, estudiaremos primero cual es el porcentaje de energía convencional que van a satisfacer mensual y anualmente o, lo que es lo mismo, cuánto gas natural de las calderas ahorraremos por medio de la geotermia.

Realizaremos este cálculo con cuatro potencias de bomba diferentes: 5,9 kW, 12,4kW, 16kW y 22kW.

Para conocer el porcentaje, necesitamos saber cuál es la demanda. Para facilitar el cálculo en esta sección del proyecto, y puesto que la potencia de las bombas viene dada en kW, calcularemos la potencia que necesita la instalación en kW-h.

Para el cálculo de la demanda de a.c.s simplemente tenemos que realizar un cambio de unidades, de kcal x 1000 a kW-h.

Para el cálculo de la demanda de calefacción, supondremos un régimen de 12 horas de funcionamiento todos los meses a excepción de junio, julio y agosto que estará apagada.

La bomba de calor funcionará los mismos meses que la calefacción, pero su régimen de funcionamiento será de 24 h. Esta decisión se ha tomado ya que los meses de verano, donde la cobertura solar es prácticamente suficiente, no necesitamos la bomba de calor y, el mínimo consumo eléctrico que conlleva su funcionamiento, hace que la mejor decisión sea mantenerla apagada. No obstante, durante los meses de invierno, funcionará 24 h para evitar los picos de consumo eléctrico durante el proceso de arranque de la bomba de calor.

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

TABLA 18. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE AHORRO ENERGÉTICO

Bomba	FlexoTHERM			
Pc (kw)	5,9	12,4	16	22
COP	5,2	5,6	5,5	5,3
Caudal geotermico (l/h)	1290	3000	3590	4780
Tª salida [°C]:	8,43	8,72	8,48	8,40
Tmin[°C]:	10,22	10,36	10,24	10,20
Lcaptación [m]:	568,9	1258,5	1571,2	2121,2
Re	9207,85	21413,6	25624,9	34119

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
Potencia calefacción [Kw]:	97	97	97	97	97				97	97	97	97	97
Consumo A.c.s al mes [l]:	46500	42000	46500	45000	46500	45000	34875	34875	45000	46500	45000	46500	524250
Increment temp a.c.s [°C]:	50	48,8	47,6	46,4	45,2	44	42,8	44	45,2	46,4	47,6	48,8	
Horas mes (24h al día):	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760
Caudal [l/s]:	0,01736	0,01736	0,01736	0,01736	0,01736	0,01736	0,01302	0,01302	0,01736	0,01736	0,01736	0,01736	
Pot. A.c.s [Kw]:	3,628	3,541	3,454	3,367	3,280	3,193	2,329	2,395	3,280	3,367	3,454	3,541	
Pot. total [KW]:	100,628	100,5414	100,454	100,367	100,28	3,1931	2,32948	2,39479	100,28	100,367	100,454	100,541	
H. mensuales calef (12h/día):	372	336	372	360	372				360	372	360	372	4380
Energía calefacción [Kw-h]:	36084	32592	36084	34920	36084				34920	36084	34920	36084	424860
Energía A.c.s [Kw-h]:	2699,58	2379,81	2570,00	2424,40	2440,42	2299,00	1733,13	1781,73	2361,70	2505,21	2487,10	2634,79	28316,89
Energía total [Kw-h]:	38783,6	34971,8	38654,0	37344,4	38524,4	2299,0	1733,1	1781,7	37281,7	38589,2	37407,1	38718,8	453176,9

FlexoTHERM 5,9 Kw													
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
Energía total [Kw-h]:	38783,6	34971,8	38654,0	37344,4	38524,4	2299,0	1733,1	1781,7	37281,7	38589,2	37407,1	38718,8	453176,9
Aporte geotérmico [KW-h]:	4389,6	3964,8	4389,6	4248	4389,6	4248	4389,6	4389,6	4248	4389,6	4248	4389,6	51684
Ahorro de potencia [%]:	11,32	11,34	11,36	11,38	11,39	100,00	100,00	100,00	11,39	11,38	11,36	11,34	11,40
FlexoTHERM 12,4 Kw													
Aporte geotérmico [KW-h]:	9225,6	8332,8	9225,6	8928	9225,6	8928	9225,6	9225,6	8928	9225,6	8928	9225,6	108624
Ahorro de potencia [%]:	23,79	23,83	23,87	23,91	23,95	100,00	100,00	100,00	23,95	23,91	23,87	23,83	23,97
FlexoTHERM 16 Kw													
Aporte geotérmico [KW-h]:	11904	10752	11904	11520	11904	11520	11904	11904	11520	11904	11520	11904	140160
Ahorro de potencia [%]:	30,69	30,74	30,80	30,85	30,90	100,00	100,00	100,00	30,90	30,85	30,80	30,74	30,93
FlexoTHERM 22 Kw													
Aporte geotérmico [KW-h]:	16368	14784	16368	15840	16368	15840	16368	16368	15840	16368	15840	16368	192720
Ahorro de potencia [%]:	42,20	42,27	42,34	42,42	42,49	100,00	100,00	100,00	42,49	42,42	42,34	42,27	42,53

Tal y como se puede observar en los resultados obtenidos, la bomba geotérmica es capaz de cubrir un gran porcentaje de la demanda, lo que permite concluir, tras este estudio, que todas las bombas aportarían el porcentaje suficiente como para que la instalación resulte rentable. Como era de esperar, el incremento de porcentaje de cobertura es directamente proporcional a la potencia de la bomba.

A continuación, se hará el dimensionado de la instalación teniendo en cuenta que es la parte en la que encontraremos mayores restricciones puesto que se dispone de un espacio limitado de cuatro perforaciones de 100 metros cada una.

### **6.3.2 DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE CALOR:**

En primer lugar, se calculará la temperatura mínima del terreno a la profundidad a la que se desea realizar la instalación. Para nuestra instalación utilizaremos una profundidad de 100 metros.

$$T_{m\acute{a}xima}(X) = T_m + A_s * e^{-X * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}}}$$

Siendo:

X: Profundidad a la que se realiza la medida (m)

$T_m$ : Temperatura media del terreno (°C). Se puede asumir como la temperatura media anual del lugar en el que se encuentra la nave industrial, en este caso

$$T_m = 14,48^\circ\text{C}$$

$A_s$ : la temperatura media diaria de la ubicación de la nave industrial (°C). Para instalaciones geotérmicas verticales, debido a la temperatura constante del subsuelo a tal profundidad durante todo el año, esta temperatura se considerará 0.

$\alpha$ : difusividad térmica del terreno ( $m^2/\text{día}$ ).

Como nuestra instalación es vertical de profundidad 100 m, obtenemos:

$$T_{m\acute{i}nima\ terreno}(100m) = T_m = 14,48^\circ\text{C}$$

A continuación, calcularemos la temperatura mínima del fluido de la bomba de calor que circulará por el conducto de captación geotérmica. Se calculará como la media de la temperatura máxima del rango de entrada y su correspondiente temperatura de salida. Para los cálculos dentro del circuito de captación, debemos tener en cuenta que se utilizará una solución salina con un calor específico de 3729,95 J/kg°C.

La temperatura de entrada en la bomba de calor se encuentra en el rango de:

$$\text{Rango } T_{entrada} [9 - 12]^\circ\text{C}$$

La temperatura de salida de la bomba de calor depende de la potencia y la eficiencia de la bomba de calor y se calcula como:

$$T_{salida} = T_{entrada} - \frac{1.000 * P_c * \frac{COP - 1}{COP}}{C_p * \left(\frac{C}{3.600}\right)}$$

Siendo:

$P_c$ : Potencia de la bomba de calor en kW

COP: coeficiente de eficiencia energética de la bomba de calor

$C$ : caudal que circula por el circuito de captación geotérmica en l/h

$C_p$ : calor específico de la solución salina en J/kg°C

Una vez conocida la temperatura de entrada y de salida, calculamos la temperatura mínima del fluido:

$$T_{MIN} = \frac{1}{2} * (T_{salida} + T_{entrada})$$

Para el cálculo de la longitud de la sonda de captación, además de tener en cuenta la diferencia de temperatura entre la mínima del terreno y la mínima de la solución salina, debemos conocer la resistencia térmica del terreno, de los tubos del intercambiador y el factor de carga.

El cálculo de la resistencia térmica del terreno ( $R_s$ ) se realizó en la parte de propiedades térmicas del terreno, obteniéndose el valor de 0,476 mk/W.

La resistencia térmica de los tubos, se calcula como:

$$R_p = \frac{1}{2 * \pi * k_p} * \ln\left(\frac{D_o}{D_1}\right)$$

$k_p$ : conductividad térmica del material del tubo en W/mk. Catálogo Anexo IV.

$D_o$ : diámetro exterior del tubo en metros.

$D_1$ : diámetro interior del tubo en metros.

El factor de carga representa la relación entre la potencia requerida por la nave industrial y la potencia de la bomba de calor. Este factor determina el tiempo que estará en funcionamiento la bomba para cubrir la demanda. Puesto que nuestra bomba no cubrirá la demanda completa de la nave industrial, no es necesario realizar un estudio mensual del factor de utilización ya que para todo momento de los meses de funcionamiento obtendremos un valor de  $f$  superior a uno; es decir, la bomba estará en funcionamiento en todo momento.

Una vez calculados los factores necesarios, calcularemos la longitud de captación necesaria.

$$L_{captación} = \frac{Q * \frac{COP - 1}{COP} * (R_p + R_s * F)}{T_{mínima terreno} - T_{MIN}}$$

Q: potencia de la bomba en W.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente hoja de Excel:

**TABLA 19. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LONGITUD DE SONDA**

**Propiedades del terreno y entorno:**

Tª más de 20m Tm [°C]:	14,48
Resistencia Term. Terreno [W/mk]:	0,476

**Propiedades comunes a todas las bombas:**

Profundidad X [m]:	100
Tª entrada [°C]:	12
Factor de carga f	1
Profundidad X [m]:	100
Tª entrada [°C]:	12
Factor de carga f	1

**Propiedades de las sondas:**

Conduct. Term [W/mk]:	0,47
Diametro exterior Do [mm]:	40
Diametro interior Di [mm]:	36,3
Calos específico [ J/kg°C]:	3729,95
Viscosidad [m²/s]:	1,4E-06
Resistencia. Term. Tubos [mk/W]:	0,03287
Precio por 100m U simple	452
Precio por 100m U doble	598,1

Bomba	FlexoTHERM			
Pc (kw)	5,9	12,4	16	22
COP	5,2	5,6	5,5	5,3
Caudal geotermico (l/h)	1290	3000	3590	4780
Tª salida [°C]:	8,43	8,72	8,48	8,40
Tmin[°C]:	10,22	10,36	10,24	10,20
Lcaptación [m]:	568,9	1258,5	1571,2	2121,2
Número de Reynolds	9207,85	21413,6	25625	34119
Nº pozos con U simple	6	13	16	21
Nº pozos con U doble	3	6	8	11

Las dos últimas filas de la tabla representan el número de perforaciones de 100 metros para introducir una sonda en forma de U simple o una sonda en forma de U doble. La sonda en forma de U necesitará la mitad de metros de perforación que la sonda en forma de U.

Tras los resultados obtenidos se ha marcado en naranja aquellas opciones que se salen del diseño y, como se puede observar en la tabla, la única opción que se ajusta al diseño es la bomba con potencia de 5,9 kW utilizando sondas en forma de U doble.

Tras este estudio la bomba de calor estaría elegida: vamos a utilizar la bomba FlexoTHERM de potencia 5,9 kW.

### 6.3.3 RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN COP

El coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción o COP, representa la relación entre la potencia entregada por la bomba hacia el circuito secundario, y la potencia eléctrica consumida por el compresor de la bomba.

Puesto que nuestra bomba estará funcionando en condiciones nominales con una potencia calorífica de 5,9 kW, queda definido en el catálogo el consumo eléctrico del compresor en condiciones nominales, siendo este de 1,3 kW.

Por tanto, el coeficiente de eficiencia energética de nuestra bomba de calor será:

$$COP = \frac{5,9}{1,3} = 4,5$$

Como es de esperar, cuanto más alto sea el coeficiente COP, más eficiente será nuestra instalación ya que necesitaremos menos cantidad de energía eléctrica para producir la misma cantidad de energía en el circuito secundario.

## **6.4 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN Y DISEÑO DEL CIRCUITO**

### **HIDRÁULICO**

#### **6.4.1 BOMBA DE CALOR:**

Tras el estudio de dimensionamiento de la instalación, somos capaces de elegir una bomba con una configuración de sonda. Dentro del catálogo de bomba FlexoTHERM de diferentes potencias, observamos como la única bomba capaz de cumplir con los requerimientos y limitaciones es la potencia de 5,9KW, capaz de realizar un ahorro de energía del 11,4% anual.

Tal y como se ha explicado previamente, para minimizar el consumo eléctrico, la bomba no estará en funcionamiento todo el año, si no que la mantendremos funcionando en condiciones nominales durante los meses en los que esté en funcionamiento la calefacción, ya que es en estos meses cuando el aporte energético de la captación solar resulta insuficiente.

El consumo eléctrico de la bomba de calor en condiciones de funcionamiento nominal es de 1,13 kW, teniendo en cuenta un funcionamiento durante 6552 días al año, esta cifra incluye el funcionamiento durante 24 horas todos los meses a excepción de junio, julio y agosto, el consumo eléctrico anual sería de 7403,76 kW-h.

La ficha técnica de la bomba geotérmica se encuentra en el Anexo IV.



FIGURA 39. BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA FLEXOTHERM. FUENTE: VAILLANT

#### 6.4.2 FLUIDO CALOPORTADOR:

El fluido caloportador que circula por las sondas de captación geotérmica, puede ser agua o agua con anticongelante. En el caso de la bomba Vaillant que vamos a utilizar, se elige por recomendación del fabricante el uso de una solución salina consistente en Glicol etileno al 30 % de volumen. Las características de este fluido caloportador se encuentran en la Tabla 20, y el caudal que se utilizará será de 1290 l/h, definido por el fabricante de la bomba en el catálogo de la misma, para un funcionamiento en condiciones nominales.

TABLA 20. CARACTERÍSTICAS TERMOFÍSICAS DEL AGUA GLICOLADA 30%. FUENTE: CARACTERÍSTICAS DEL LÍQUIDO DE REFRIGERACIÓN, GUASCH.

Temperatura de fusión (°C)	Temperatura (°C)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg K)	Conductividad térmica (W/m K)	Viscosidad dinámica (mPa s)
-15	30	1.035	3.760	0,472	1,68
	20	1.039	3.730	0,463	2,19
	10	1.043	3.700	0,454	3,03
	0	1.046	3.665	0,444	4,35
	-10	1.048	3.635	0,435	6,80
	-15	1.049	3.620	0,430	8,60

#### 6.4.3 TUBERÍAS:

##### Circuito captación:

Tal y como se ha explicado en el punto anterior, por el circuito primario o circuito de captación, circulará el fluido caloportador, que transportará el calor del interior de la tierra hasta la bomba de calor con ayuda de una bomba de circulación. Por este circuito circulará agua con un 30% de Glicol etileno.

La distribución de las sondas de captación estará distribuida en tres de las cuatro perforaciones existentes, ya que la longitud de captación necesaria es de 569 metros. El uso de sondas de tipo U, es el más sencillo de instalar, no obstante, en el caso de nuestra instalación esto significaría el uso de un mínimo de seis perforaciones de 100 metros cada una, puesto que no disponemos de tal número de perforaciones, la única opción que se puede emplear, es el uso de tres perforaciones con sondas de tipo doble U, tal y como se ha calculado en la hoja Excel.

Los materiales más utilizados en las sondas geotérmicas son: polietileno (PE) o polibutileno (PB). No obstante, y a pesar de que ambos materiales presentan unas buenas propiedades de flexibilidad y resistencia, el material que se emplea más habitualmente debido a su precio más reducido es el polietileno, en concreto PE100, tubos de polietileno de alta densidad.

Para la elección del diámetro de las sondas, la Guía Técnica de Instalaciones Geotérmicas de Circuito Cerrado de la IDAE <sup>[13]</sup>, determina que debe cumplir dos condiciones, se debe asegurar que se mantiene un flujo turbulento dentro de la sonda, es decir, que el número de Reynolds  $Re$  del fluido se mantiene por encima de 2300, pero a su misma vez, la sonda debe tener un diámetro lo suficientemente grande como para que la pérdida de carga no sea demasiado grande.

Se utilizará un diámetro exterior de sonda de 40 mm con un espesor de 3,7mm, por tanto, el diámetro interior será de 36,6 mm. Comprobaremos que el número de Reynolds supera 2300 y que la velocidad del fluido se mantiene por debajo de 1,2 m/s.

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * v * D} > 2300$$

Siendo:

$Q$ : caudal que circula por el tubo en  $m^3/s$ , en este caso utilizaremos un caudal de 1290 l/h que equivale a  $0,000358 m^3/s$ .

$v$ : viscosidad del fluido caloportador en  $m^2/s$ , este valor se calcula como el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad del Glicol etileno, el valor de la viscosidad resulta  $1,365 * 10^{-6} m^2/s$

$D$ : el diámetro interior del tubo en m, para nuestro tubo tenemos un diámetro interior igual a 0,0366 m.

Por tanto, nuestro  $Re$  será 9132,37 valor superior a 2300 por tanto flujo turbulento.

La velocidad del fluido la calcularemos como el cociente entre el caudal y la sección de la tubería.

Sección de la tubería:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (36,6 * 10^{-3})^2}{4} = 0,001052 m^2$$

Por tanto, la velocidad del fluido será de:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,000358}{0,001052} = 0,34 m/s$$

Comprobamos que la velocidad del fluido se mantiene por debajo de 1,2 m/s.

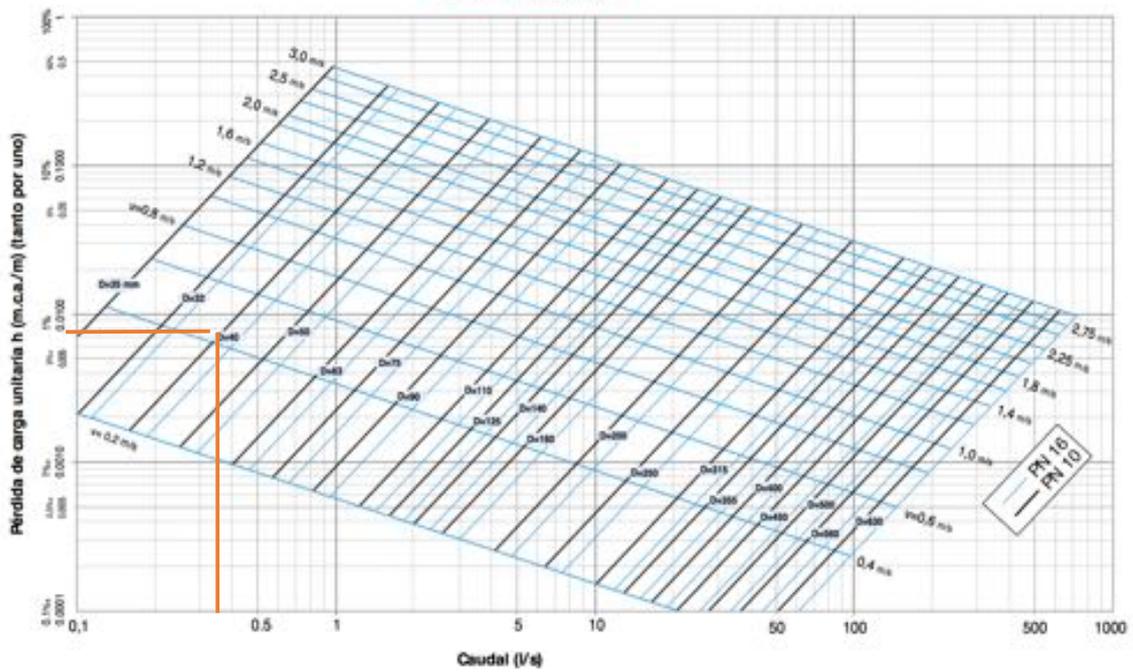


FIGURA 40. DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE CARGA EN TUBOS HDPE PE100. FUENTE: HAZEN-WILLIAMS

Los valores obtenidos a partir de la figura 40 son:

TABLA 21. CÁLCULO DE LOS TUBOS DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA

Tramo	Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Caida de presión (mm.c.a/m)	Longitud tubería (m)	Pérdida de carga (mm.c.a)
Circuito de fluido caliente (bomba-acumulador)						
3-4	0,36	40	0,34	5	100	500
Circuito de fluido frío (red de agua fría-bomba)						
1-2	0,36	40	0,34	5	100	500

Teniendo en cuenta que en cada uno de los tres pozos se utiliza una sonda doble U, la pérdida de carga será el doble, por tanto:

La pérdida de carga en la red de tubos del circuito captador es:

$$\Delta P_{\text{tuberías}} = \Sigma \Delta P_{\text{tramos}} = 3 * 2 * 1000 \text{ mm. c. a} = 58,8 \text{ kPa}$$

Consideraremos unas pérdidas por elementos intermedios del 50%

$$\Delta P_{\text{intermedio}} = 0,5 * 58,8 \text{ kPa} = 29,4 \text{ kPa}$$

### **Circuito secundario:**

Por el circuito secundario, aquél que transporta el agua caliente que sale de la bomba de calor hasta el depósito de acumulación, el fluido circulante es agua.

Antes de llegar al depósito de acumulación añadiremos una válvula de tres vías ya que el caudal de agua de entrada al depósito de acumulación puede no ser suficiente para mantener el depósito lleno y por tanto, en ese caso habría que añadir agua fría de red.

Para simplificar la instalación se utilizarán tuberías de cobre al igual que en la instalación solar y con el mismo recubrimiento aislante, se comprarán exactamente las mismas tuberías. Y la bomba de calor geotérmica se encontrará a una distancia de dos metros del depósito de acumulación, a la misma altura, ambos en el suelo de la nave industrial.

El caudal que circulará por estas tuberías, en condiciones nominales, será de 920 l/h, valor definido por el fabricante. Debemos asegurar, al igual que en los cálculos de la instalación solar, que no existe una pérdida de carga mayor a 40 mm.c.a y que la velocidad del fluido se mantiene por debajo de 1,2 m/s. Utilizando el mismo diagrama de pérdida de carga en tubos de cobre para una temperatura del fluido de 45°, y sin necesidad de factor de corrección ya que la temperatura del agua circulante en este caso será de 45°C, calculamos los valores necesarios para la tubería. Tabla X. Supondremos una distancia desde la bomba de calor hasta la entrada de agua fría de red de 2 metros.

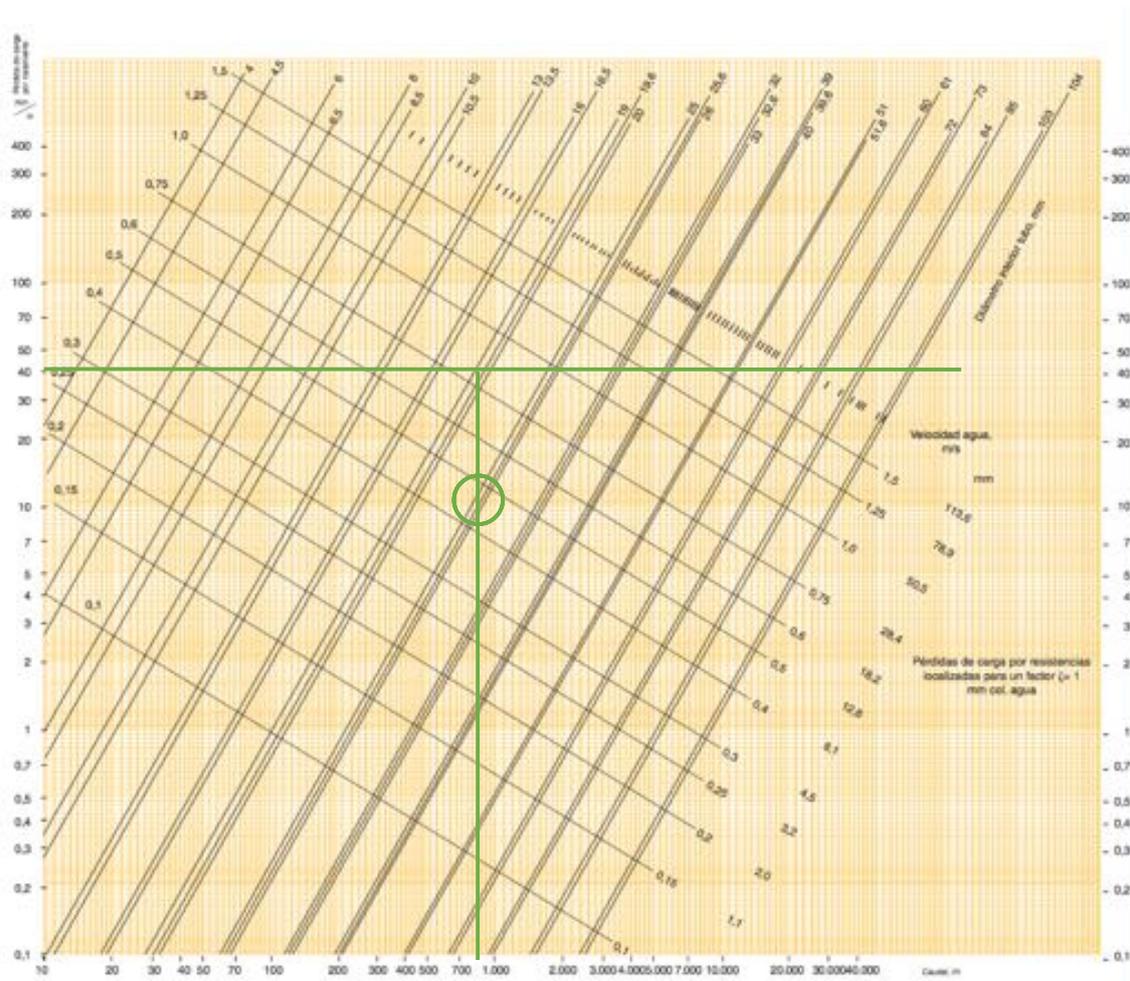


FIGURA 41. DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE CARGA EN TUBOS DE COBRE PARA UNA TEMPERATURA DEL FLUIDO DE 45°, CONDUCTOS DE GEOTERMIA. FUENTE: LA ELECCIÓN PROFESIONAL, CENTRO ESPAÑOL DE INFORMACIÓN DEL COBRE (CEDIC)

Los datos obtenidos a partir del diagrama de la Figura 41, son los siguientes:

TABLA 22. CÁLCULO DE TUBERÍAS DEL CIRCUITO GEOTÉRMICO SECUNDARIO

Tramo	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Caida de presión (mm.c.a/m)	Longitud tubería (m)	Perdida de carga (mm.c.a)
Circuito de fluido caliente (bomba-acumulador)						
3-4	920	26	0,46	11	2	22
Circuito de fluido frío (red de agua fría-bomba)						
1-2	920	26	0,46	11	2	22

La pérdida de carga en la red de tuberías del circuito secundario es:

$$\Delta P_{\text{tuberías}} = \Sigma \Delta P_{\text{tramos}} = 44 \text{ mm. c. a} = 431,2 \text{ Pa}$$

Al igual que en los circuitos solares consideraremos unas pérdidas por elementos intermedios del 50%

$$\Delta P_{\text{intermedio}} = 0,5 * 1431,2 \text{ Pa} = 215,6 \text{ Pa}$$

#### 6.4.4 BOMBAS DE CIRCULACIÓN:

Será necesario incluir dos bombas de circulación, una en el circuito primario o de captación y otra en el circuito secundario.

##### Circuito captación:

La bomba de circulación del circuito de captación se colocará en el lugar por donde el fluido caloportador accede a la bomba de calor.

Debemos tener en cuenta no solo la pérdida de carga por la fricción con la tubería, si no también la profundidad de 100 metros de la sonda.

$$\Delta P_{\text{tuberías}} = 58,8 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{\text{intermedio}} = 29,4 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{tuberías}} + \Delta P_{\text{intermedio}} = 88,2 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{Bomba}} = 0,36 * \Delta P_{\text{total}} = 0,36 * 88,2 = 31,758 \text{ W}$$

Por recomendación del fabricante de la bomba de calor geotérmica, se utilizará en el circuito de captación una bomba de circulación con potencia eléctrica de 44 W.

La bomba de circulación se elegirá de la marca Grundfos, utilizaremos el modelo ALPHA2 15-80 130. Especificaciones en el Anexo IV.



FIGURA 42. BOMBA DE CIRCULACIÓN MODELO ALPHA2 15-80 130. FUENTE: GRUNDFOS

### Circuito secundario:

En el circuito secundario la pérdida de carga es mucho menos ya que las distancias entre la bomba de calor y el depósito de acumulación son muy pequeñas.

$$\Delta P_{tuberías} = 431,2 Pa$$

$$\Delta P_{intermedio} = 215,6 Pa$$

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{tuberías} + \Delta P_{intermedio} = 0,647 kPa$$

$$P_{Bomba} = 0,26 * \Delta P_{total} = 0,26 * 0,647 = 0,17 W$$

A pesar de que la potencia requerida es prácticamente nula, el fabricante de la bomba de calor geotérmica nos recomienda añadir una bomba de potencia eléctrica 25 W.

La bomba de circulación se elegirá de la marca Grundfos, utilizaremos el modelo ALPHA2 15-50 130. Especificaciones en el Anexo IV.



FIGURA 43. BOMBA DE CIRCULACIÓN MODELO ALPHA2 15-50 130. FUENTE: GRUNDFOS

## 7. Estudio de viabilidad económica

Una vez conocido el funcionamiento de la instalación al completo, habiendo calculado el ahorro energético que supone cada parte de la instalación, y los elementos que se utilizarán en cada instalación, podemos proceder a realizar es estudio de viabilidad económica de la instalación.

Este estudio calculará de manera independiente para la instalación de captación solar y la instalación geotérmica, el coste de la instalación, así como el ahorro energético anual, y realizará una comparativa entre gasto y ahorro para conocer la cantidad de años que se tardará en amortizar los equipos y cuál será el ahorro económico a partir de ese momento.

### **7.1 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN SOLAR:**

#### **Costes:**

Coste de los equipos que se deben comprar para la instalación:

TABLA 23. COSTE EQUIPOS INSTALACIÓN SOLAR

Equipo	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio total (€)
Captadores solares VHM 2.1	9 baterías de 6	911	8.199
Bomba Primario UPS 32-160 F	2 bombas	1242	2.484
Bomba Secundario MAGNA1 65-150 F	2 bombas	3056	6.112
Acumuladores	2 acumuladores	5986	11.972
Intercambiador de calor	1 intercambiador	431	431
Tuberías diam. 20mm	10,5 m	9,39/metro	100
Tuberías diam. 33mm	10,5 m	15,98/metro	170
Tuberías diam. 40mm	55,1 m	19,5/metro	1.075
Tuberías diam. 51 mm	20 m	30/metro	600

Equipo de control Termix Plus	1 equipo	790	790
Vaso de expansión 35 SMR-P	1 vaso	78	78
Coste total			32.011

Coste de la instalación de equipos:

El precio de la instalación de los equipos, se trata de una única inversión inicial cuyo precio ronda el 10% del precio de la instalación.

Instalación equipos: 3.200 €

Coste de mantenimiento:

El mantenimiento de la instalación se realizará de manera anual y su coste no superará más de un 2% del coste de la inversión inicial.

Coste mantenimiento: 640 € / año

Coste eléctrico de la instalación solar:

La instalación solar requiere de una pequeña aportación eléctrica por parte de las bombas y el equipo de control.

- Potencia del equipo de control es de 2 W
- Potencia de la bomba de circulación del primario es de 400W
- Potencia de la bomba de circulación del secundario es de 1 kW

Por tanto, la potencia eléctrica de la instalación completa es de 1,402 kW, que, siguiendo el coste de tarifa de Iberdrola <sup>[14]</sup>, supone un coste de 145 € anuales.

El coste total de la instalación solar térmica será de:

**Coste = 35.211 € el primer año y 785 € anuales a partir del segundo año.**

### Ahorros:

El ahorro de la instalación se ve reflejado en el consumo de gas natural de las calderas. La potencia calorífica que antes tenía que producirse desde las calderas mediante el uso de gas natural ahora será producido de manera casi gratuita desde la instalación solar térmica.

El precio actual del gas natural es de 0,05 €/kWh, según el Ministerio español de Energía, Turismo y Agenda Digital a fecha 22 de marzo de 2018 <sup>[15]</sup>.

Tal y como se ha definido en los cálculos de la instalación solar, el ahorro anual gracias a la instalación solar es del 36,7% lo que equivale a 92.437.000 Kcal o 107.432,34 kW-h.

**Ahorro de gas natural = 5.371,62 € /año**

### Amortización y ahorro a largo plazo:

Para averiguar cuando se amortizará la instalación debemos calcular el tiempo, en años, que tardarán en igualarse los costes y el ahorro según la siguiente fórmula:

$$\text{Inversión inicial} + n^{\circ} \text{ años} * \text{coste anual instalación} = n^{\circ} \text{ años} * \text{ahorro anual}$$

Siendo el número de años la incógnita de la ecuación y con los valores calculados previamente obtenemos que la instalación tardará un total de **ocho años** en ser amortizada.

A partir de entonces existirá un ahorro anual de **4586,62 € /año**.

## 7.2 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA:

### Costes:

Coste de los equipos que se deben comprar para la instalación:

TABLA 24. COSTE EQUIPOS INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

Equipo	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio total (€)
Bomba de calor geotérmica FlexoTHERM	1 bomba	7420	7.420
Sondas geotérmicas	3 doble U de 100 metros	894,1	2.682,3
Bomba Primario ALPHA2 15-80 130	1 bomba	569	569
Bomba Secundario ALPHA2 15-50 130	1 bomba	481	481

Tuberías diam. 22mm	4 m	12,5 / metro	50
Coste total			11.202,3

Coste de la instalación de equipos:

Puesto que las perforaciones en el suelo, han sido previamente realizadas y este supone el mayor coste de instalación, el precio de instalación de los equipos de geotermia será al igual que en la instalación solar, del 10% del valor de la instalación.

Instalación equipos: 1.120 €

Coste de mantenimiento:

Los costes de mantenimiento en sistemas geotérmicos son más reducidos que en la captación solar térmica, esto se debe a que el mantenimiento de la instalación es prácticamente inexistente, por tanto y como coste orientativo, se fijará en un 1% del valor de la instalación.

Coste mantenimiento: 112 € / año

Coste eléctrico de la instalación geotérmica:

La instalación solar requiere de una pequeña aportación eléctrica por parte de las bombas y el equipo de control.

- Potencia de la bomba de calor geotérmica es de 1,3 kW
- Potencia de la bomba de circulación del primario es de 44 W
- Potencia de la bomba de circulación del secundario es de 25 W

Por tanto, la potencia eléctrica de la instalación completa es de 1,369 kW, que, siguiendo el coste de tarifa de Iberdrola <sup>[14]</sup> utilizado en el sistema de captación solar, supone un coste de 145 € anuales.

El coste total de la instalación geotérmica será de:

**Coste = 12.322 € el primer año y 257 € anuales a partir del segundo año.**

### Ahorros:

En el caso del sistema geotérmico y debido a las limitaciones de potencia debidas al espacio explicadas en la parte de diseño de la instalación, la aportación energética no será demasiado grande, de este modo hemos conseguido mantener el precio de la instalación en valores bajos en relación a sistemas de geotermia habituales.

Al igual que hemos utilizado en la instalación solar, utilizaremos el precio de gas natural definido por el Ministerio español de Energía, Turismo y Agenda Digital a fecha 22 de marzo de 2018 <sup>[15]</sup> de 0,05 €/kWh.

Tal y como se ha definido en los cálculos de la instalación geotérmica, el ahorro anual gracias a esta instalación es del 11,4% lo que equivale a 51.684 kW-h.

**Ahorro de gas natural = 2.584,2 € /año**

### Amortización y ahorro a largo plazo:

Al igual que con la instalación solar, calcularemos la cantidad de años que tardaremos en amortizar la instalación geotérmica, según la siguiente fórmula:

$\text{Inversión inicial} + n^\circ \text{ años} * \text{coste anual instalación} = n^\circ \text{ años} * \text{ahorro anual}$

Siendo el número de años la incógnita de la ecuación y con los valores calculados previamente obtenemos que la instalación tardará un total de **seis años** en ser amortizada.

A partir de entonces existirá un ahorro anual de **2.327,2 € /año**.

## 7.3 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN CONJUNTA SOLAR Y GEOTÉRMICA:

### Costes:

Coste de los equipos que se deben comprar para la instalación:

- Equipos del sistema de captación solar: 32.011 €
- Equipos del sistema de captación geotérmico: 11.202,3 €

Coste de la instalación de equipos:

- Instalación equipos captación solar: 3.200 €
- Instalación equipos captación geotérmica: 1.120 €

Coste de mantenimiento:

- Coste mantenimiento instalación solar: 640 € /año
- Coste mantenimiento instalación geotérmica: 112 € /año

Coste eléctrico de ambas instalaciones:

- Potencia del equipo de control es de 2 W
- Potencia de la bomba de circulación del primario es de 400W

- Potencia de la bomba de circulación del secundario es de 1 kW
- Potencia de la bomba de calor geotérmica es de 1,3 kW
- Potencia de la bomba de circulación del primario geotérmico es de 44 W
- Potencia de la bomba de circulación del secundario geotérmico es de 25 W

Por tanto, la potencia eléctrica de la instalación completa es de 2,771 kW, que, siguiendo el coste de tarifa de Iberdrola <sup>[14]</sup> y teniendo en cuenta que su valor sigue por debajo de los 3,5kW, supone un coste de 145 € anuales.

El coste total de ambas instalaciones será de:

**Coste = 47.533 € el primer año y 897 € anuales a partir del segundo año.**

### Ahorros:

- Ahorro de gas natural en el sistema solar = 5.371,62 € / año
- Ahorro de gas natural en el sistema geotérmico = 2.584,2 € / año

Ahorro total de ambas instalaciones:

**Ahorro = 7.955,82 € /año**

### Amortización y ahorro a largo plazo:

Se calculará utilizando la misma fórmula que en la instalación solar y geotérmica, pero con los datos conjuntos de ambas instalaciones

$\text{Inversión inicial} + n^\circ \text{ años} * \text{coste anual instalación} = n^\circ \text{ años} * \text{ahorro anual}$

Siendo el número de años la incógnita de la ecuación y con los valores calculados previamente obtenemos que la instalación completa tardará un total de **siete años** en ser amortizada.

A partir de entonces existirá un ahorro anual de **7.098,82 € /año.**

El ahorro conseguido anualmente en gas natural para cada tipo de instalación, así como el coste invertido anualmente en gas natural se ven reflejados en la siguiente gráfica:

## Coste anual del Gas Natural según instalación

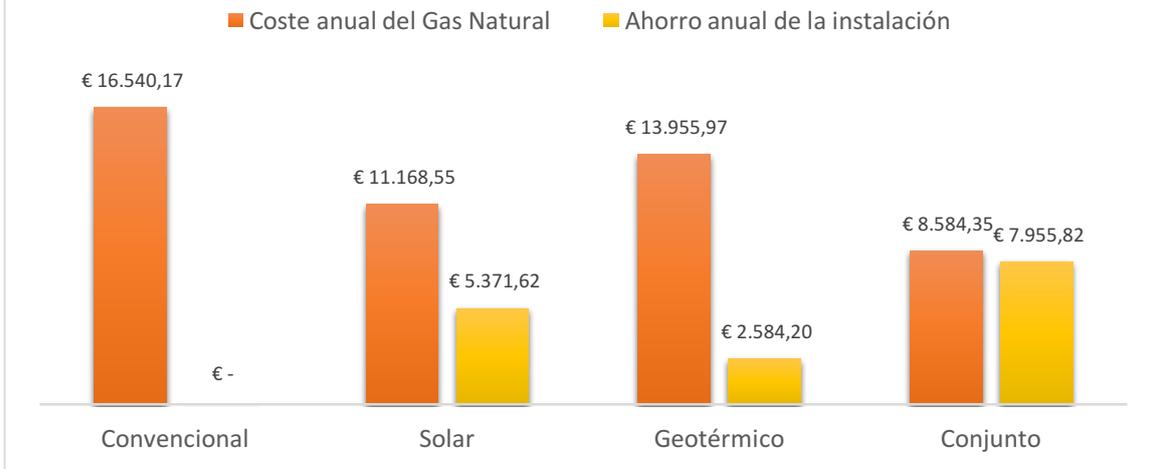


FIGURA 44. GRÁFICO DEL COSTE Y AHORRO ECONÓMICO EN GAS NATURAL ANUAL SEGÚN TIPO DE INSTALACIÓN.



## 8. Estudio de las emisiones de CO2

Las emisiones de CO2 en la atmósfera, tienen lugar durante el proceso de combustión de los combustibles fósiles. Sus efectos nocivos sobre el medioambiente y la salud son evidentes, siendo responsable del 60% del efecto invernadero existente <sup>[16]</sup>. Y su crecimiento aumenta según aumenta la cantidad de combustibles fósiles utilizados, es por eso, que existe un objetivo común en la sociedad de reducir el uso de combustibles fósiles.

Uno de los objetivos perseguidos en este proyecto era la reducción de la cantidad de gas natural utilizada y por tanto su correspondiente emisión de CO2. Puesto que se ha conseguido reducir en un porcentaje muy importante el consumo de gas natural, se esperan resultados positivos en la reducción de emisiones. A continuación, se estudiarán cuantitativamente estas reducciones de emisiones de CO2 para las tres configuraciones que hemos estudiado a lo largo del proyecto.

### **8.1 ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE CO2 EN LA INSTALACIÓN SOLAR:**

Las emisiones de CO2 se miden según los kg de CO2 por kW-h de energía producida durante la combustión de un cierto combustible.

Los datos de la cantidad de CO2 que se emite a la atmósfera durante la combustión de gas natural se obtienen del documento "Factores de Emisión de CO2 y Coeficiente de Paso a Energía Primaria de Diferentes Fuentes de Energía Final Consumida en el Sector de Edificios en España" de la IDAE <sup>[17]</sup>. El factor de emisión de CO2 definido en este documento para el gas natural es el siguiente:

$$\text{Emisión CO2} = 0,252 \text{ kg CO2/kW-h de gas natural}$$

Por tanto, teniendo en cuenta la demanda energética anual de la nave industrial de 453.177 kW-h, que estaba previamente siendo satisfecha por medio de la combustión de gas natural, las emisiones en la atmosfera alcanzaban valores anuales de:

$$\text{Emisión CO2 instalación convencional} = 0,252 * 453.177 = 114.200,6 \text{ kg CO2}$$

Con la instalación solar se consigue una reducción de las emisiones de CO2 correspondiente a la energía que se deja de producir por medio de combustión de gas natural, calculada en una cantidad de 166.315 kW-h anual. Por tanto, las reducciones en las emisiones de CO2 disminuyen en una cantidad de:

$$\text{Reducc. emisiones CO2 captación solar} = 0,252 * 166.315 = 41.911,4 \text{ kg CO2}$$

Obteniendo unas emisiones a partir de la instalación de sistema de producción de energía solar térmica de:

$$\text{Emisión CO2 con instalación solar} = 114.200,6 - 41.911,4 = 72.289,2 \text{ kg CO2}$$

## **8.2 ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE CO2 EN LA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA:**

La instalación geotérmica, se ha estudiado que supondrá un aporte inferior en el ahorro de gas natural en relación con la instalación solar, no obstante, también supone una reducción de CO2 importante que debe ser considerada.

El cálculo se realizará de la misma manera que se ha procedido con la instalación solar térmica, utilizando el mismo factor de emisiones de CO2 utilizado previamente de  $0,252 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h de gas natural}^{[17]}$ . Obteniéndose los siguientes resultados para un ahorro en el consumo de gas natural de 51.684 kW-h anuales calculado en apartados anteriores.

$$\text{Reducc. emisiones CO}_2 \text{ geotermia} = 0,252 * 51.684 = 13.024,37 \text{ kg CO}_2$$

Obteniendo un sistema final que emite una cantidad de CO2 anual de:

$$\text{Emisión CO}_2 \text{ con geotermia} = 114.200,6 - 13.024,37 = 101.176,2 \text{ kg CO}_2$$

## **8.3 ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE CO2 EN LA INSTALACIÓN SOLAR Y GEOTÉRMICA:**

Tal y como se ha procedido anteriormente, se va a calcular cual sería el efecto en las emisiones de CO2 si se instalase un sistema de producción de energía mediante captación solar térmica con un apoyo de energía geotérmica.

En esta instalación el ahorro obtenido en el consumo de gas natural, resulta la suma del consumo de los dos sistemas anteriores de manera independiente, alcanzándose un ahorro del 48,1% de la combustión de gas natural anualmente. La cantidad de energía producida por medio de fuentes de energía renovables en esta instalación es de 217.999 kW-h lo que supone una reducción de las emisiones de CO2 de:

$$\text{Reducc. emisiones CO}_2 \text{ sistema conjunto} = 0,252 * 217.999 = 54.935,75 \text{ kg CO}_2$$

Obteniendo un sistema final con aporte solar y geotérmico que emite una cantidad de CO2 anual de:

$$\text{Emisión CO}_2 \text{ con geotermia} = 114.200,6 - 54.935,75 = 59.264,85 \text{ kg CO}_2$$

Se ha realizado un gráfico incluyendo los resultados obtenidos en los cálculos de las tres instalaciones:

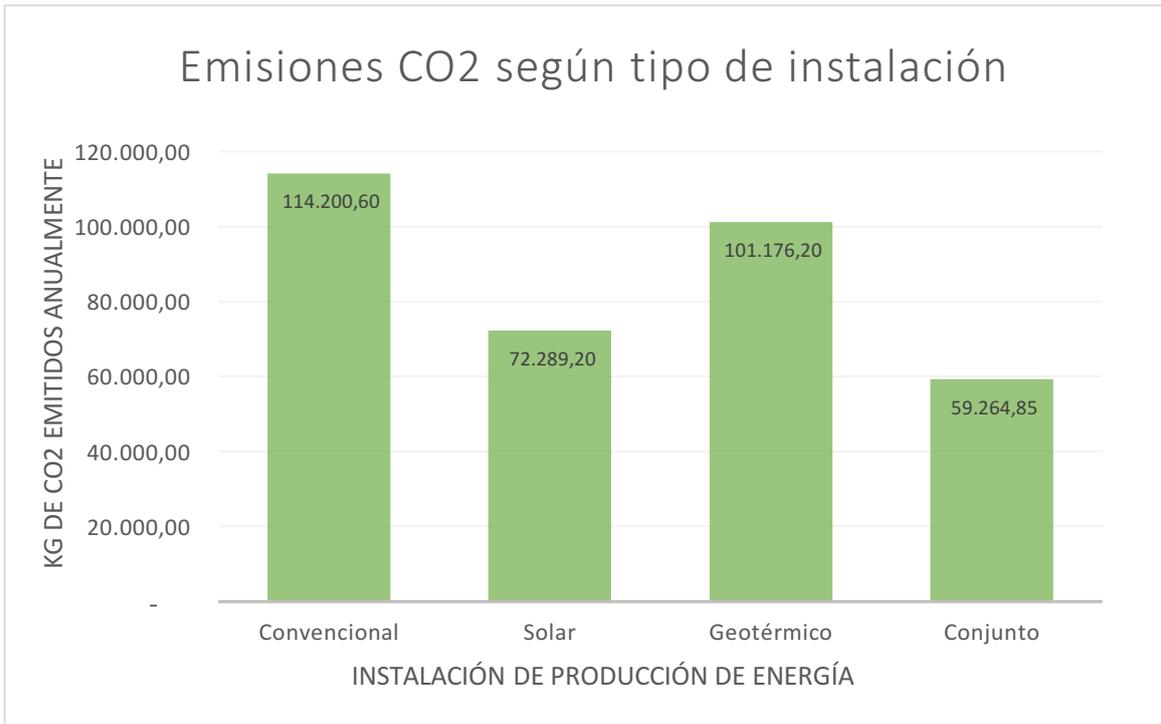


FIGURA 45. DIAGRAMA DE LAS EMISIONES DE CO2 EMITIDAS ANUALMENTE EN KG SEGÚN TIPO DE INSTALACIÓN ELEGIDO.



## 9. Conclusión

De acuerdo con los estudios, análisis detallados y cálculos realizados en el presente proyecto, consistente en la búsqueda de una solución que permita mejorar la eficiencia energética de una instalación de climatización y producción de a.c.s. de una nave industrial, mediante la utilización complementaria de energía solar térmica y energía geotérmica, se obtiene como principal conclusión:

**“El proyecto es viable desde el punto de vista económico, puesto que permite conseguir un ahorro energético muy significativo (48% del consumo de gas natural de la instalación inicial), gracias a la utilización conjunta de ambas energías renovables (solar y geotérmica), mientras que la amortización de las nuevas instalaciones se conseguirá en un plazo de tiempo razonable (7 años).**

**En efecto, el sistema conjunto definido en el presente proyecto permitirá el ahorro de 159.116 kW-h de gas natural anualmente, que no solo supondrá el mencionado ahorro del 48% de gas natural, sino que también permitirá una importante reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (32.460 Kg de reducción de CO<sub>2</sub> al año)”**

Tal y como se ha descrito en detalle en los capítulos anteriores, el proyecto consta fundamentalmente de dos partes:

- En primer lugar, se ha diseñado la componente correspondiente a la energía solar térmica, habiéndose calculado en detalle el porcentaje de ahorro y la rentabilidad económica asociada a la misma.
- Posteriormente, se ha realizado el diseño de la componente geotérmica de esta instalación, así como el cálculo del impacto y ahorro económico que se conseguirá gracias a la utilización de la misma como energía complementaria.

Los resultados obtenidos son óptimos si se considera la utilización conjunta de ambas energías renovables (solar y geotérmica) como un complemento a la instalación inicial basada en el uso de energías convencionales (gas natural). Sin embargo, si se analizan de forma separada ambas componentes de la nueva instalación (solar y geotérmica), es posible obtener consideraciones muy interesantes, tal y como se describe a continuación:

- La instalación solar, para ser capaz de generar un ahorro energético considerable (de aproximadamente el 30%) necesita de un gran sistema instalado con un elevado número de captadores. Además, la alta potencia calorífica requerida por la instalación solar conlleva un gran volumen de acumulación de agua, por lo que la instalación solar requiere de una inversión elevada. No obstante, el ahorro que proporciona es lo suficientemente elevado como para que la amortización de esta instalación se consiga en un plazo de tiempo relativamente corto.
- La instalación geotérmica ha sido diseñada para proporcionar un aporte energético extra al sistema de captación solar, para lo que se ha utilizado una bomba de potencia reducida, pero que permite conseguir un ahorro

energético en el entorno del 10%. El coste de esta instalación geotérmica es muy reducido, gracias a la reutilización de las perforaciones del terreno realizadas previamente, por lo que la amortización de esta instalación se consigue también en un plazo reducido de tiempo.

# ANEXOS

ANEXO I. Cálculo del coeficiente de transmisión de calor.

ANEXO II. Cálculo de cargas térmicas.

ANEXO III. Fichas técnicas.

ANEXO IV. Planos.

ANEXO V. Bibliografía.

ANEXO VI. Especificaciones técnicas.



## ANEXO I: CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CALOR

El coeficiente de transmisión de calor de cerramientos, es la capacidad que tienen los cerramientos del local para conducir calor. Es necesario conocer esta información sobre la nave industrial para poder realizar el cálculo de cargas térmicas (ANEXO II) ya que según la calidad de aislamiento de la nave las pérdidas aumentarán o se verán reducidas. El cálculo del coeficiente de transmisión  $k$  para muros mixtos, se calcula según:

$$\frac{1}{k} = \sum \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$$

Siendo  $\lambda$  la conductividad térmica del material del muro,  $h_i$  y  $h_e$  el coeficiente superficial de transmisión de calor de la cara interior y exterior del cerramiento, y  $L$ , el espesor del muro.

**Fachada:** compuesta por dos chapas de 0,5 mm de acero con un aislamiento interior de 80 mm de lana de roca.

	Chapa de acero	Lana de roca
$\lambda$ [kcal/hm°C]	50	0,036
L (m)	$10^{-3}$	$80 * 10^{-3}$

Al tratarse de cerramiento verticales  $\frac{1}{h_i}$  y  $\frac{1}{h_e}$  tendrán el valor de  $0,13 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ \text{C} / \text{kcal}$  y  $0,07 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ \text{C} / \text{kcal}$  respectivamente.

$$\frac{1}{k} = \frac{10^{-3}}{50} + \frac{80 * 10^{-3}}{0,036} + 0,13 + 0,07 = 2,422 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ \text{C} / \text{kcal}$$

Por tanto:

$$k_{fachada} = 0,41288 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$$

**Cubierta:** compuesta por dos chapas de 0,5 mm de acero con un aislamiento interior de 45 mm de lana de roca.

	Chapa de acero	Lana de roca
$\lambda$ [kcal/hm°C]	50	0,036
L (m)	$10^{-3}$	$45 * 10^{-3}$

Como se trata de una superficie horizontal con diferente dirección de transmisión de calor para invierno y para verano, realizaremos dos cálculos:

Invierno: flujo ascendente, por tanto  $\frac{1}{h_i}$  y  $\frac{1}{h_e}$  tendrán el valor de  $0,11 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C} / \text{kcal}$  y  $0,06 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C} / \text{kcal}$  respectivamente.

$$\frac{1}{k} = \frac{10^{-3}}{50} + \frac{45 * 10^{-3}}{0,036} + 0,11 + 0,06 = 1,42 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C} / \text{kcal}$$

$$k_{\text{cubierta invierno}} = 0,7042 \text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Verano: flujo descendente, por tanto  $\frac{1}{h_i}$  y  $\frac{1}{h_e}$  tendrán el valor de  $0,2 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C} / \text{kcal}$  y  $0,06 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C} / \text{kcal}$  respectivamente.

$$\frac{1}{k} = \frac{10^{-3}}{50} + \frac{45 * 10^{-3}}{0,036} + 0,2 + 0,06 = 1,51 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C} / \text{kcal}$$

$$k_{\text{cubierta verano}} = 0,662 \text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Suelo: puesto que en este proyecto no se necesita un cálculo de alta precisión, se puede aproximar que los suelos sin aislamiento térmico tienen un coeficiente térmico de  $1,5 \text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ .

$$k_{\text{suelo}} = 1,5 \text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Ventanas: para la transmisión de calor a través de ventanales, basamos el cálculo en el uso de la tabla X2. Los ventanales de la nave industrial son de acristalamiento sencillo con carpintería de madera.

$$k_{\text{ventanas}} = 4,3 \text{ kcal} / \text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Situación del cerramiento	Situación del cerramiento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal		0,13 (0,11)	0,07 (0,06)	0,20 (0,17)	0,13 (0,11)	0,13 (0,11)	0,26 (0,22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,11 (0,09)	0,06 (0,05)	0,17 (0,14)	0,11 (0,09)	0,11 (0,09)	0,22 (0,18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,20 (0,17)	0,06 (0,05)	0,26 (0,22)	0,20 (0,17)	0,20 (0,17)	0,40 (0,34)

Resistencias térmicas superficiales en  $\text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} / \text{kcal}$  ( $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$ )

Coefficiente superficial de transmisión de calor. Fuente: apuntes de climatización, ICAI

Tipo de acristalamiento	Espesor nominal de la cámara de aire, en mm	Tipo de carpintería	Inclinación del hueco con respecto a la horizontal	
			≥ 60°	< 60°
Sencillo		Madera	4,3 (5,0)	4,7 (5,5)
		Metálica	5,0 (5,8)	5,6 (6,5)
Doble	6	Madera	2,8 (3,3)	3,0 (3,5)
		Metálica	3,4 (4,0)	3,7 (4,3)
	9	Madera	2,7 (3,1)	2,8 (3,3)
		Metálica	3,4 (3,9)	3,6 (4,2)
	12	Madera	2,5 (2,9)	2,7 (3,1)
		Metálica	3,2 (3,7)	3,4 (4,0)
Doble ventana	≥ 30	Madera	2,2 (2,6)	2,3 (2,7)
		Metálica	2,6 (3,0)	2,8 (3,2)
Formigón translúcido	—	—	3,0 (3,5)	3,2 (3,7)

Coeficiente de transmisión térmica K,  
en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C)

*Coeficiente de transmisión de calor para ventanas. Fuente: apuntes de climatización, ICAI*



## ANEXO II: CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Este cálculo se ha realizado mediante el software Excel, se explicará cómo se han calculado las cargas y se añadirá la hoja de cálculos de Excel al final.

### **Invierno:**

La pérdida de cargas en invierno supone una pérdida de calor desde la nave industrial hacia el exterior. A pesar de que las pérdidas de invierno tienen una componente sensible y otra latente, en este proyecto ya que se trata de un cálculo de aproximación, las cargas latentes serán despreciadas. A pesar de que los cálculos se han hecho con signo positivo, realmente al ser pérdidas se deben considerar como negativas ya que se trata de pérdidas de calor.

Existen dos tipos de pérdidas de calor latente en invierno:

- Cargas térmicas por transmisión de cerramientos opacos: este tipo de pérdidas implican una transmisión de calor desde la nave industrial hacia el exterior por medio de las paredes, cubierta y suelo. Depende de las temperaturas interiores y exteriores y de las propiedades constructivas de la nave industrial.

$$Q = k * S * (t_{interior} - t_{exterior})$$

$k$ : coeficiente de transmisión del cerramiento en  $kcal/m^2h^{\circ}C$

$S$ : superficie del cerramiento en  $m^2$

$t_{interior}$ : temperatura del espacio climatizado en  $^{\circ}C$

$t_{exterior}$ : temperatura del espacio exterior en  $^{\circ}C$

- Cargas térmicas por ventilación e infiltraciones: es la carga que tiene lugar por la ventilación del espacio climatizado. Por norma, el espacio tiene que ser climatizado, el porcentaje de aire de ventilación depende del uso del local. En este caso se incorporarán  $36 m^3/h$  por persona, esto implica un caudal de  $3600 m^3/h$ . Las pérdidas por ventilación se calculan como:

$$Q = V * \rho * C_e * (t_{interior} - t_{exterior})$$

$V$ : caudal de aire infiltrado y de ventilación en  $m^3/h$

$\rho$ : densidad del aire en  $kg/m^3$

$C_e$ : calor específico del aire en base al volumen en  $kcal/kg^{\circ}C$

### **Verano:**

Las cargas de verano, suponen una ganancia de calor dentro de la nave industrial, al tener el espacio climatizado a una temperatura inferior a la del exterior, tendrá lugar una transferencia de calor desde el exterior hasta el interior del local incrementando su temperatura. Este tipo de cargas si serán de valor positivo ya que existe una aportación de calor hacia el interior. En verano existe tanto aportación de calor latente como sensible, ambas suponen una aportación lo suficientemente grande como para no poder ser ignoradas.

Existen siete tipos de ganancia de calor latente en verano:

- Cargas térmicas por transmisión de cerramientos opacos: el cálculo se realiza según la misma fórmula que en invierno, pero debido a la acción del sol, debemos corregir el incremento de temperatura haciendo los cálculos con un incremento de temperatura corregido en vez del incremento de temperatura real.

$$Q = k * S * (\Delta T_{eq})$$

Este incremento de temperatura depende de la orientación del muro y su peso. El peso de nuestros muros es:

	Fachadas	Cubierta
Peso del muro	170 kg/m <sup>2</sup>	183 kg/m <sup>2</sup>

Los cálculos se realizará para las 15.00h por ser un momento de alto nivel de radiación, y se obtendrán los datos de las tablas X1 y X2 aproximando el peso del muro y de cubierta a 100 kg/m<sup>2</sup>.

CONDIC.	PESO TECHO kg/m <sup>2</sup>	HORA SOLAR																								
		MAÑANA												TARDE												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
SOLEADO	50	3.9	1.7	0.5	-0.5	-1.7	-2.2	-3.3	-3.9	-2.8	-0.5	3.9	8.3	12.3	17.8	21.1	23.9	25.6	25.0	22.8	19.4	15.6	12.2	8.9	5.5	
	100	6.7	4.4	3.3	2.2	1.1	0.0	-0.5	-1.1	-0.5	1.1	5.0	8.9	12.8	16.7	20.0	22.8	23.9	23.9	22.2	19.4	16.7	13.9	11.1	8.3	
	200	9.4	7.2	6.1	5.0	3.3	2.2	1.7	1.1	1.7	3.3	5.5	8.9	12.8	15.6	18.3	21.1	22.2	22.8	21.7	19.4	17.8	15.6	13.3	11.1	
	300	12.3	10.0	8.9	7.2	6.1	5.0	4.4	3.3	3.9	4.4	6.1	8.9	12.7	15.0	17.7	20.4	21.1	21.7	21.1	20.0	18.9	17.2	15.6	13.9	
	400	15.0	12.8	11.1	10.0	7.8	7.2	6.7	6.1	6.1	6.7	7.2	8.9	12.7	14.4	16.4	18.3	19.4	20.4	20.4	19.4	18.9	18.9	17.8	16.7	
CUBIERTO DE AGUA	100	-0.5	-1.7	-1.7	-2.2	-2.8	-2.8	-1.7	0.0	1.1	3.3	4.4	6.0	10.4	13.3	11.1	10.0	8.9	7.8	6.7	5.5	4.4	3.3	1.1	0.5	0.5
	200	0.5	-0.5	-1.1	-1.7	-1.7	-1.7	-1.1	-0.5	-0.5	0.0	2.8	5.5	7.2	8.3	8.3	8.9	8.3	8.3	7.8	6.7	5.5	3.9	2.8	1.7	
	300	3.2	1.7	1.1	0.5	0.0	-0.5	-1.1	-1.1	-1.1	1.1	2.8	3.9	5.5	6.7	7.8	8.3	8.9	8.3	7.8	6.7	5.5	4.4	3.3	2.2	
ROCIADO	100	-0.5	-1.1	-1.1	-1.7	-1.7	-2.2	-1.7	0.0	1.1	3.3	4.4	6.7	8.3	10.0	9.4	8.9	8.3	7.8	6.7	5.5	4.4	3.3	1.1	0.5	0.0
	200	0.5	0.0	0.0	0.5	-0.5	-1.1	-1.7	-0.5	-0.5	0.0	1.1	2.8	4.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	4.7	3.9	3.0	2.8	1.7	
	300	2.2	1.1	0.5	0.0	-0.5	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	2.8	4.4	5.5	6.7	7.2	7.8	7.2	6.7	6.1	5.5	4.4	3.3	2.2	
EN SOMBRA	100	-0.5	-1.7	-2.2	-2.8	-2.8	-2.8	-2.2	-1.1	0.0	1.1	3.3	5.0	6.7	7.2	7.8	7.2	6.7	6.1	5.5	4.4	3.3	1.1	0.5	0.0	
	200	0.0	-0.5	-1.7	-2.2	-2.8	-2.8	-2.2	-1.7	-1.1	0.0	1.1	2.8	4.4	5.5	6.7	7.2	6.7	6.1	5.5	4.4	3.3	2.2	1.1	0.5	
	300	1.1	-0.5	0.0	-0.5	-1.1	-1.7	-1.7	-1.1	-1.1	-0.5	0.0	1.1	2.2	3.3	4.4	5.0	5.5	5.5	5.5	5.0	4.4	3.3	2.2	1.1	

Si las Radiaciones Barométricas están ventiladas, a si el techo está aislado tomar al 75 % del valor de la tabla  
 Para techos inclinados considerar la proyección horizontal de la superficie  
 VALORES VALIDOS PARA: TECHOS SOLADOS O EN SOMBRA SIN AISLAMIENTO DE COLOR OSCURO  
 TEMPERATURA INTERIOR 21°C, TEMPERATURA EXTERIOR 35°C (SALTO TERMICO 8°C)  
 MES JULIO, LATITUD 46°N  
**TABLA PRI0: DIFERENCIAS EQUIVALENTES DE TEMPERATURA PARA TECHOS. (Manual CARRIER)**

Diferencia equivalente de temperatura para cubiertas. Fuente: apuntes de climatización, ICAI

ORIENT.	PESO MURO kg/m <sup>2</sup>	HORA SOLAR																								
		MAÑANA												TARDE												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
NE	100	0,0	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1	2,8	8,3	12,2	12,8	13,3	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	
	300	2,2	3,3	0,5	0,0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1	2,8	13,3	17,3	11,1	8,3	5,5	6,1	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	
	600	3,9	3,3	3,3	2,8	2,8	2,2	1,7	2,2	2,2	5,5	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	6,1	6,7	6,7	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,3	
	700	5,0	4,4	4,4	3,9	3,9	3,3	2,8	2,8	2,2	1,1	3,3	3,3	3,3	3,3	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,2	1,7	1,1	0,5	0,5	
E	100	0,0	-0,5	-1,1	-1,7	-3,7	0,5	9,4	16,7	18,3	20,0	19,4	17,8	11,1	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	
	300	2,2	1,7	0,5	0,5	0,0	-0,5	0,0	11,7	16,7	17,3	17,3	16,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3		
	600	5,0	4,4	3,9	3,9	3,3	2,8	2,8	3,3	4,4	7,8	11,1	13,3	13,9	12,3	11,1	10,0	8,9	7,8	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,5	
	700	7,2	7,2	6,7	6,7	6,7	6,1	5,5	5,5	5,0	4,4	5,0	5,5	6,1	10,0	10,6	10,0	9,4	8,9	7,8	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	
SE	100	0,0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1	5,5	3,3	7,2	10,6	14,4	15,0	15,6	14,4	13,3	10,6	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	
	300	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1	0,5	0,5	0,0	7,2	11,1	13,3	15,6	14,4	13,9	11,7	10,0	8,3	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	
	600	5,0	5,0	4,4	4,4	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	6,1	8,9	9,4	10,0	10,6	10,0	9,4	7,8	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	
	700	6,1	6,1	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	4,4	4,4	4,4	3,9	3,3	6,1	7,8	8,3	8,9	10,0	8,9	8,3	7,8	7,2	6,7	6,7	6,7	
S	100	0,5	0,5	0,0	0,0	-0,5	-0,5	-1,1	-2,2	0,5	7,2	7,8	12,2	15,0	16,7	15,6	14,4	11,1	8,9	6,7	5,5	3,9	3,3	1,7	1,1	
	300	1,1	0,5	0,5	0,0	-0,5	-0,5	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	3,9	6,7	11,1	12,3	13,9	14,4	12,8	11,1	8,3	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	
	600	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1	1,7	2,2	4,4	6,7	8,3	8,9	10,0	10,0	8,3	7,8	6,1	5,5	5,0	4,4	
	700	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9	3,9	3,3	3,3	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	
SO	100	0,5	0,5	0,0	-0,5	-0,5	-1,1	-2,2	-2,2	-1,1	0,0	2,2	3,3	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	23,3	16,7	13,3	6,7	3,3	2,2	1,1	
	300	2,8	2,2	2,2	1,7	1,7	1,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	1,1	4,4	6,7	13,3	17,8	19,4	20,0	19,4	18,9	11,1	5,5	3,9	3,3	
	600	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9	3,9	2,8	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	6,7	7,8	18	12,2	12,8	13,3	12,8	12,2	11,7	11,1	
	700	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	
O	100	0,5	0,0	0,0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1	0,0	1,7	3,3	5,5	6,7	10,6	13,3	18,3	22,2	22,8	18,9	16,0	11,1	7,2	5,5	
	300	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1	1,1	0,5	0,0	0,0	0,0	1,1	2,2	3,9	5,5	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	20,0	15,6	8,9	5,5	3,3	
	600	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,5	6,7	9,4	11,1	12,9	15,6	15,0	14,4	10,6	7,8	
	700	11,1	10,0	8,9	8,3	7,2	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	
NO	100	0,0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1	-1,7	-2,2	-2,2	-1,1	0,0	1,7	3,3	5,5	6,7	10,6	13,3	18,3	22,2	22,8	18,9	16,0	11,1	7,2	5,5	
	300	2,2	1,7	0,5	0,0	-0,5	-1,1	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0,0	1,1	3,3	4,4	5,5	6,7	11,7	16,7	17,2	17,8	11,7	6,7	4,4	3,3	
	600	3,9	3,9	3,3	3,3	2,8	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,8	3,3	5,0	6,7	9,4	11,1	11,7	12,2	7,8	4,4
	700	8,9	7,2	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	7,8	10,6	10,6	11,1
N (en la sombra)	100	0,0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0,5	2,2	4,4	5,5	6,7	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,0		
	300	1,1	0,5	0,0	-0,5	-1,1	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	-0,5	0,0	1,7	3,3	4,4	5,5	6,1	6,7	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2		
	600	1,7	1,7	1,1	1,1	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	700	2,2	1,7	1,1	1,1	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

VALORES VALIDOS PARA: MUROS SOLEADOS O EN SOMBRA, CON O SIN AISLAMIENTO, DE COLOR OSCURO.  
TEMPERATURA INTERIOR 19°C, TEMPERATURA EXTERIOR 16°C (SAITO TERMICO 8°C)  
MES JULIO, LATITUD 40°N

TABLA PR09: DIFERENCIAS EQUIVALENTES DE TEMPERATURA PARA MUROS. (Manual CARRIER)

Diferencia equivalente de temperatura para muros. Fuente: apuntes de climatización, ICAI

- Cargas por ventilación e infiltraciones: el cálculo se realiza utilizando la misma fórmula que en invierno.

$$Q = V * \rho * C_e * (t_{exterior} - t_{interior})$$

- Carga por radiación solar a través de acristalamientos: la radiación que atraviesa las ventanas del local supondrá un gran aporte calorífico, calentando las superficies interiores de la nave. Se calcula según:

$$Q = S * R * f$$

R: radiación solar que atraviesa un vidrio sencillo en  $kcal/m^2h$

S: superficie del cerramiento en  $m^2$

f: factor de corrección según el tipo de vidrio (Tabla X)

Tipo de vidrio	Sin persiana	Persiana veneciana o cortina interior	Persiana veneciana exterior
Sencillo	1	0,65	0,22
Absorbente	0,73	0,59	0,16
Doble	0,8	0,59	0,18
Teñido medio	0,6		
Teñido oscuro	0,35		

Factor de corrección según el tipo de acristalamiento. Fuente: apuntes de climatización, ICAI

La radiación solar que atraviesa un vidrio sencillo según la orientación, el mes y la latitud del lugar, usaremos la latitud de 40°C durante el mes de junio.

LATITUD	MES	ORIENTACION								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horizontal
0	JUN	160	423	398	113	38	113	398	423	612
	JUL: MAY	130	414	412	141	38	141	412	414	631
	AGO: ABR	67	382	442	214	38	214	442	382	664
	SEP: MAR	27	320	452	320	38	320	452	320	678
	OCT: FEB	27	214	442	382	92	382	442	214	664
	NOV: ENE	27	141	412	414	181	414	412	141	631
	DIC	27	113	398	423	222	423	398	113	612
10	JUN	108	414	420	149	38	149	420	414	659
	JUL: MAY	81	401	428	179	38	179	428	401	669
	AGO: ABR	35	352	442	254	38	254	442	352	678
	SEP: MAR	27	279	444	344	75	344	444	279	669
	OCT: FEB	27	179	420	404	198	404	420	179	623
	NOV: ENE	24	100	382	436	287	382	382	100	569
	DIC	24	75	371	442	324	442	371	75	547
20	JUN	70	417	433	198	38	198	433	417	678
	JUL: MAY	51	374	442	230	38	230	442	374	680
	AGO: ABR	29	320	447	306	70	306	447	320	669
	SEP: MAR	27	235	442	379	176	379	442	235	631
	OCT: FEB	24	141	398	433	301	433	398	141	564
	NOV: ENE	21	70	347	444	382	444	347	70	488
	DIC	21	48	328	452	404	452	328	48	461
30	JUN	54	377	436	244	57	244	436	377	678
	JUL: MAY	43	355	444	271	81	271	444	355	667
	AGO: ABR	29	292	447	349	170	349	447	292	637
	SEP: MAR	24	244	428	412	284	412	428	244	574
	OCT: FEB	21	105	366	442	393	442	366	105	485
	NOV: ENE	19	43	314	439	431	439	314	43	391
	DIC	16	32	284	439	442	439	284	32	355
40	JUN	46	360	439	301	146	301	439	360	642
	JUL: MAY	40	344	444	339	187	339	444	344	631
	AGO: ABR	29	276	439	395	276	396	439	276	580
	SEP: MAR	24	157	404	439	379	439	404	157	496
	OCT: FEB	19	94	330	442	439	442	330	94	349
	NOV: ENE	13	32	271	423	450	423	271	32	279
	DIC	13	27	233	401	447	401	233	27	230
50	JUN	43	341	444	366	252	366	444	341	596
	JUL: MAY	38	317	442	387	287	387	442	317	572
	AGO: ABR	29	254	428	425	374	425	428	254	501
	SEP: MAR	21	157	374	442	428	442	374	157	401
	OCT: FEB	13	78	284	425	452	425	284	78	254
	NOV: ENE	10	24	173	344	414	344	173	24	173
	DIC	8	19	127	314	382	314	127	19	108

TABLA PR07: MAXIMAS APORTACIONES SOLARES (kcal/(h·m<sup>2</sup>·°C)) A TRAVES DE CRISTAL SENCILLO EN FUNCION DE LA LATITUD DEL LUGAR Y DEL MES DE CALCULO.  
MANUAL CARRIER

*Radiación solar que atraviesa un vidrio sencillo*

- Carga por ocupación: para el cálculo de estas cargas, es necesario conocer la ocupación de la nave industrial, en este caso tiene una ocupación de 100 personas, así como el nivel de actividad, se utilizará trabajo de fábrica ligero.

$$Q = N * q_{sensible}$$

N: número de personas en el local

$q_{sensible}$ : potencia sensible de cada persona en kcal/h. Datos en la tabla X.

TIPO DE ACTIVIDAD	ACTIVIDAD METABÓLICA [met]	Potencia [W]	
		Q <sub>SENSIBLE</sub>	Q <sub>LATENTE</sub>
Durmiendo	0,76	50	25
Sentado, sin trabajar	1,0	65	35
Paseando	1,5	75	70
Bailando moderadamente	2,5	90	160
Haciendo deporte (gym)	5,0	210	315
Trabajo oficina	1,3	75	55
Trabajo doméstico	2,0	80	120
Trabajo fábrica (ligero)	2,8	110	85

Potencia térmica por persona según tipo de actividad. Fuente: apuntes de climatización, ICAI

- Carga por iluminación: las cargas por iluminación suponen únicamente un aporte de calor sensible. Se ha utilizado un valor aproximado de carga total de 47.295 kcal/h
- Carga por maquinaria: las cargas debidas a la maquinaria de la nave industrial y puesto que no conocemos el uso que se le dará esta nave, se utilizará un valor aproximado teniendo en cuenta que las cargas por maquinaria aportan tanto calor sensible como latente este valor será aproximado utilizando una relación de dos tercios de calor sensible y un tercio de calor latente. El valor de carga total que se utilizará será de 70.937,2 kcal/h
- Carga debido a la propia instalación: por último, y tras haber realizado todos los cálculos, debemos tener en cuenta la aportación calorífica propia de la instalación de climatización en funcionamiento. Este valor se aproximará como el 6% del calor sensible total.

Existen tres tipos de ganancia de calor latente en verano, aunque las pérdidas por ventilación serán ignoradas también en este caso:

- Cargas por ocupación: la potencia térmica de las personas contribuye al calor latente de una manera inferior a la sensible. Los datos para nuestra nave industrial se obtendrán de la tabla X. Para un nivel de actividad de trabajo de fábrica.

$$Q = N * q_{latente}$$

$q_{latente}$ : potencia latente de cada persona en kcal/h. Datos en la tabla X.

- Cargas por maquinaria: tal y como se ha definido previamente, y debido al desconocimiento de uso de la nave industrial, la aportación de calor latente por parte de la maquinaria supondrá un tercio de la aportación total de la maquinaria.

A continuación, se expone la hoja de cálculos de Excel con la que se ha realizado el cálculo:

## Cargas Térmicas de Invierno

Text	-3	°C
Tint	23	°C
Kcubierta	0,7042	kcal/h²Cm²
Kpared	0,41288	kcal/h²Cm²
Ksuelo	1,5	kcal/h²Cm²
Kventana	4,3	kcal/h²Cm²

Calor específico	0,29	Kcal/m³°C
Personas	100	
Aire por persona	36	m³/h
Caudal exterior	3600	m³/h
Caudal climatización	7200	m³/h

### Cargas sensible

#### Cargas por radiación, convección y conducción

Acubierta	500	m²
Apared	630	m²
Apuerta	500	m²
Aventana	5	m²
Qcubierta	10070,06	Kcal/h
Qpared	7439,27184	Kcal/h
Qsuelo	21450	Kcal/h
Qventanas	614,9	Kcal/h

#### Cargas por ventilación

Qventilación	29858,4	Kcal/h
--------------	---------	--------

Carga sensible total		
Qs	69432,63184	Kcal/h
	80,75	KW
	96,9	KW

NEGATIVO  
Factor seguridad 20%

### Cargas latente

#### Cargas por ventilación

Qventilación	16,360704	W
--------------	-----------	---

Despreciable

## Cargas Térmicas de Verano

Text	34	°C
Tint	23	°C
OMDR	20,1	°C
Wint	0,008747	Kgv/Kgas
Wext	0,012487	Kgv/Kgas
ΔW	0,00374	Kgv/Kgas
Kcubierta	0,7042	kcal/h²Cm²
Kpared	0,41288	kcal/h²Cm²
Ksuelo	1,5	kcal/h²Cm²
Kventana	4,3	kcal/h²Cm²
Nº personas	100	personas
sible term oc	80	W/persona
ente term oc	85	W/persona

Oscilacion tem

ΔTeq N	6,7	°C
ΔTeq S	15,6	°C
ΔTeq E	7,2	°C
ΔTeq O	17,8	°C
ΔTeq C	20,8	°C
R norte	40,41	kcal/hm²
R sur	186,6	kcal/hm²
f	0,65	

A muro N	171	m²
A muro S	174	m²
A muro E	140	m²
A muro O	140	m²
A cubierta	500	m²
A ventana N	4	m²
A ventana S	1	m²

### Cargas sensibles

#### Cargas por transmisión a través de cerramientos opacos

Q muro N	520,340278	Kcal/h
Q muro S	1211,53856	Kcal/h
Q muro E	559,171642	Kcal/h
Q muro O	1382,39656	Kcal/h
Q cubierta	1615,38474	Kcal/h

#### Cargas por ventilación

Qventilación	12632,4	Kcal/h
--------------	---------	--------

#### Cargas por ocupación

Qocupación	7566,636	Kcal/h
------------	----------	--------

### Cargas latentes

#### Cargas por ventilación

Qventilación	65,9736	W
--------------	---------	---

Despreciable

#### Cargas por ocupación

Qocupación	8039,548	Kcal/h
------------	----------	--------

#### Cargas por radiación solar a través de acristalamientos

Q ventana N	115,5726	Kcal/h
Q ventana S	133,419	Kcal/h

#### Cargas por propia instalación

Qinstalación	5800,445303	Kcal/h
--------------	-------------	--------

#### Cargas por iluminación

Qiluminacion	23645,743	Kcal/h
--------------	-----------	--------

#### Cargas por maquinaria

Qmaquinaria	47291,486	Kcal/h
-------------	-----------	--------

#### Cargas por maquinaria

Qmaquinaria	23645,743	Kcal/h
-------------	-----------	--------

Carga sensible total		
Qs	96674,08838	Kcal/h
	112,43	KW
	134,916	KW

POSITIVO  
20%seguridad

Cargas latente total		
Ql	31685,291	Kcal/h
	36,85	KW
	44,22	KW

POSITIVO  
20%seguridad

CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN	
Q_imp(m³/h)	Pot (kW)	Q_imp(m³/h)	Pot (kW)
7200	96,9	7200	179,136

## ANEXO III: CÁLCULOS MEDIANTE EL MÉTODO FCHART

Hoja Excel con el cálculo únicamente de a.c.s por el método FChart:

### PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR

#### DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS

Provincia:	Madrid												
Latitud de cálculo:	40,42												
Latitud [°min.]:	40,25												
Altitud [m]:	667,00												
Humedad relativa media [%]:	42,00												
Velocidad media del viento [Km/h]:	10,00												
Temperatura máxima en verano [°C]:	34,00												
Temperatura mínima en invierno [°C]:	-3,00												
Variación diurna:	15,00												
Grados-día, Temperatura base 15/15 (unidades):	1260 (Periodo Noviembre-Marzo)												
Grados-día, Temperatura base 15/15 (unidades):	1425 (Todo el año)												
<b>T</b>	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
T <sub>a</sub> , media ambiente [°C]:	4,90	6,50	10,00	13,00	15,70	20,60	24,20	23,60	19,80	14,00	8,90	5,60	13,8
T <sub>w</sub> , media agua rec [°C]:	10,0	11,2	12,4	13,6	14,8	16,0	17,2	16,0	14,8	13,6	12,4	11,2	13,8
Rad. horiz. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	6,362	8,798	14,192	19,552	21,184	23,530	25,874	22,986	18,118	10,762	7,326	6,263	15,325
Rad. inclin. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	11,283	14,874	17,629	19,791	18,473	19,159	21,547	21,754	18,371	12,693	12,532	12,161	18,688

ORIGEN DE LOS DATOS: Libro "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas".  
 ORGANISMO: Centro de Estudios de la Energía (Ministerio de Industria y Energía).

#### DATOS RELATIVOS A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Número de ocupantes:	100												
Consumo por ocupante [L/día]:	15												
Consumo de agua a máxima ocupación [L/día]:	1.500												
Temperatura de utilización [°C]:	80												
	125 L/h												
	2,08333 L/min												
<b>Meses</b>	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
% de ocupación:	100	100	100	100	100	100	75	75	100	100	100	100	96

ESTOS DATOS SON LOS QUE UTILIZA EL PROGRAMA PARA OBTENER LOS RESULTADOS, CUALQUIER VARIACIÓN EN SU MAGNITUD INVALIDARÍA LOS MISMOS, POR LO QUE DEBERÁ COMUNICARSE TODA DISCONFORMIDAD CON ELLOS ANTES DE LA FIRMA DEL CONTRATO.

#### DATOS RELATIVOS AL SISTEMA

Cptadores: Icaro VHM 2.1

Curva de rendimiento del colector:  $\eta = 0,88 - 3,334 * (t_e - t_a) / \beta$

t<sub>e</sub>: Temperatura de entrada del fluido al colector  
 t<sub>a</sub>: Temperatura media ambiente  
 I: Radiación en [W/m<sup>2</sup>]

Factor de eficiencia del colector:	0,88	
Coefficiente global de pérdida [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]:	3,334	
Volumen de acumulación [L/m <sup>2</sup> ]:	57	
Caudal en circuito primario [(L/h)/m <sup>2</sup> ] - [(Kg/h)/m <sup>2</sup> ]:	41	
Caudal en circuito secundario [(L/h)/m <sup>2</sup> ] - [(Kg/h)/m <sup>2</sup> ]:	41	
Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg·°C)]:	0,88	
Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg·°C)]:	1	
Eficiencia del intercambiador:	0,8	
	60% agua 40% glicol Agua	

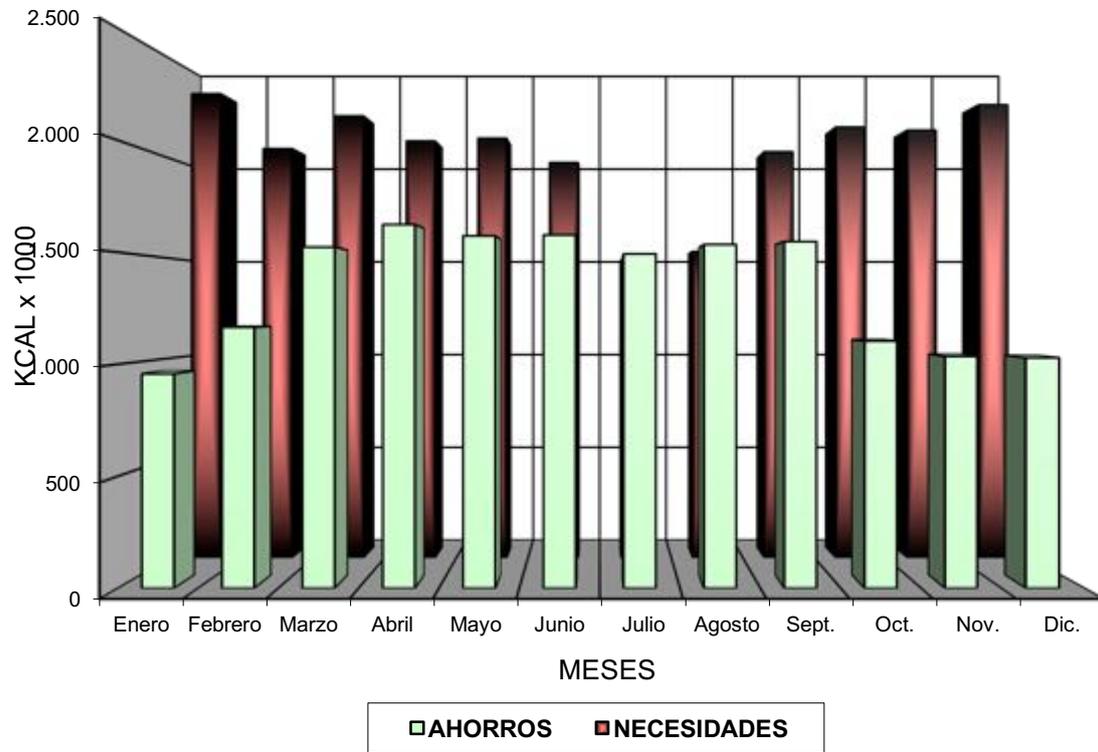
#### CÁLCULO ENERGÉTICO

<b>Meses</b>	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Consumo de agua [m <sup>3</sup> ]:	46,5	42,0	48,5	45,5	46,5	45,0	34,9	34,9	45,0	46,5	45,0	46,5	524,3
Incremento T <sub>a</sub> [°C]:	50,0	48,8	47,8	46,4	45,2	44,0	42,8	44,0	45,2	46,4	47,8	48,8	
Ener. Nec. [Kcal-1000]:	2.325	2.050	2.213	2.088	2.102	1.960	1.493	1.535	2.034	2.158	2.142	2.269	24.388

#### DATOS DE SALIDA

Número de colectores:	12												
Área colectores [m <sup>2</sup> ]:	34,80												
Inclinación [°]:	45,00												
Volumen de acumulación [L]:	2.000												
	2 Baterías de 6 en paralelo												
	Relación entre volumen/area												
	57,47:26 57,47:13 entre 50 y 80												
<b>Meses</b>	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal-1000]:	2.325	2.050	2.213	2.088	2.102	1.960	1.493	1.535	2.034	2.158	2.142	2.269	24.388
Anomas [Kcal-1000]:	957	1.185	1.523	1.624	1.573	1.577	1.493	1.535	1.548	1.103	1.035	1.029	16.161
Anomas [%]:	41,2	58,8	68,8	77,8	74,8	79,7	100,0	100,0	76,1	51,1	48,3	45,3	66,3

## NECESIDADES Y AHORROS



# Hoja Excel con el cálculo únicamente de calefacción por el método FChart:

## PRODUCCIÓN DE CALEFACCIÓN POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR

### DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS

Provincia:	Madrid												
Latitud de cálculo:	45.42												
Latitud [°N]:	40.25												
Altitud [m]:	667.00												
Humedad relativa media [%]:	42.00												
Velocidad media del viento [Km/h]:	10.00												
Temperatura máxima en verano [°C]:	34.00												
Temperatura mínima en invierno [°C]:	-3.00												
Variación diurna:	15.00												
Grados-día. Temperatura base 15/15 (CNC 1984):	1200 (Periodo Noviembre/Marzo)												
Grados-día. Temperatura base 15/15 (CNC 2004):	1405 (Todo el año)												
Tª. media ambiente [°C]:	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Tª. media agua rec [°C]:	4,90	6,80	10,00	13,00	15,70	20,60	24,20	23,60	19,80	14,00	8,90	5,60	13,8
Rad. horz. [kWh/m <sup>2</sup> /día]:	10,2	11,2	12,4	13,8	14,8	16,0	17,2	16,0	14,8	13,6	12,4	11,2	13,8
Rad. horz. [kWh/m <sup>2</sup> /día]:	6,362	8,798	14,150	19,552	21,184	23,530	25,674	22,966	18,116	10,762	7,326	6,263	15,325
Rad. inclin. [kWh/m <sup>2</sup> /día]:	11,263	14,674	17,629	19,791	18,473	19,159	21,547	21,754	18,371	12,693	12,532	12,161	16,688
ORIGEN DE LOS DATOS:	Libro "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas"												
ORGANISMO:	Centro de Estudios de la Energía (Ministerio de Industria y Energía).												

### DATOS RELATIVOS A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Potencia Calefacción [Kcal/h]:	100												
Horas diarias de funcionamiento:	15												
Consumo de agua a máxima ocupación [L/día]:	1.500												
Temperatura de utilización [°C]:	60												
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Días del mes en funcionamiento:	31	28	31	30	31				30	31	30	31	273
Horas de funcionamiento diarias:	12	12	12	12	12				12	12	12	12	12
Horas de funcionamiento mensuales:	372	336	372	360	372				360	372	360	372	3276

### DATOS RELATIVOS AL SISTEMA

Copeland: Isora VHM 2.1

Curva de rendimiento del colector:  $\tau = 0,808 - 3,334 \cdot (t_c - t_a) / R$

- t<sub>c</sub>: Temperatura de entrada del fluido al colector
- t<sub>a</sub>: Temperatura media ambiente
- R: Radiación en [W/m<sup>2</sup>]

Factor de eficiencia del colector:	0,808	
Coefficiente global de pérdida [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]:	3,334	
Volumen de acumulación [L/m <sup>2</sup> ]:	57	
Caudal en circuito primario [(L/h/m <sup>2</sup> ) - (kg/h/m <sup>2</sup> )]:	41	
Caudal en circuito secundario [(L/h/m <sup>2</sup> ) - (kg/h/m <sup>2</sup> )]:	41	
Calor específico en circuito primario [Kcal/(kg·°C)]:	0,68	60% agua 40% glicol
Calor específico en circuito secundario [Kcal/(kg·°C)]:	1	Agua
Eficiencia del intercambiador:	0,8	

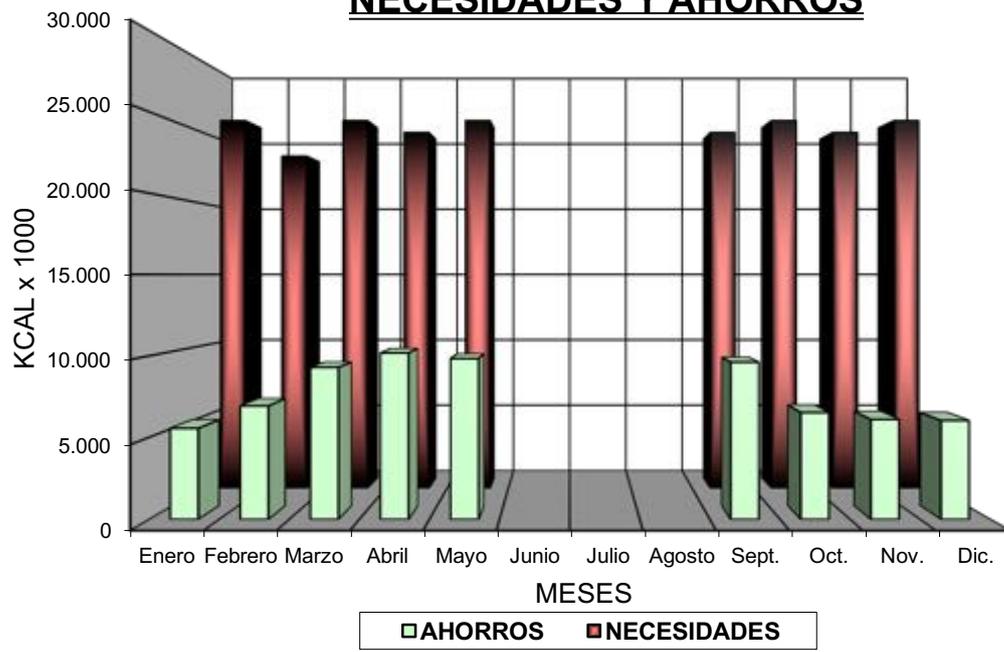
### CÁLCULO ENERGÉTICO

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Potencia calefacción [Kcal/h]:	69432,63	69432,63	69432,63	69432,63	69432,63				69432,63	69432,63	69432,63	69432,63	69432,63
Horas de funcionamiento:	372	336	372	360	372				360	372	360	372	3276
Ener. Nec. (Kcal/1000):	25.829	23.329	25.829	24.996	25.829				24.996	25.829	24.996	25.829	227.461

### DATOS DE SALIDA

Número de colectores:	42												
Área colectores [m <sup>2</sup> ]:	121,80												
Inclinación [°]:	45,00												
Volumen de acumulación [L]:	7.000												
7 Baterías de 6 en paralelo													
Relación entre volumen/area 57,47126 57,47126/4 entre 50 y 80													
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. (Kcal/1000):	25.829	23.329	25.829	24.996	25.829				24.996	25.829	24.996	25.829	227.461
Ahorros (Kcal/1000):	5.542	6.822	9.292	15.176	9.826				9.826	6.513	6.094	6.024	69.996
Ahorros [%]:	21,5	29,7	36,0	42,7	38,0				38,4	25,2	24,4	23,3	32,8

## NECESIDADES Y AHORROS



# Hoja Excel con el cálculo de calefacción y a.c.s por el método FChart:

## PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE Y CALEFACCIÓN POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR

### DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS

Provincia:	Madrid
Latitud de cálculo:	40,42
Latitud (°min):	40,25
Altitud (m):	667,00
Humedad relativa media (%):	42,00
Velocidad media del viento (Km/h):	10,00
Temperatura máxima en verano (°C):	34,00
Temperatura mínima en invierno (°C):	-3,00
Variación diaria:	15,00
Grados-día, Temperatura base 15/15 (°C x días):	1290 (Periodo Noviembre/Marzo)
Grados-día, Temperatura base 15/15 (°C x días):	1405 (Todo el año)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Tª media ambiente (°C):	4,80	6,30	10,00	13,00	15,70	20,80	24,20	23,80	19,80	14,00	8,90	6,60	13,8
Tª media agua red (°C):	10,0	11,2	12,4	13,8	14,8	16,0	17,2	18,0	14,8	13,8	12,4	11,2	13,8
Rad. horiz. (kWh/m²/día):	6,362	9,798	14,150	19,552	21,184	23,530	25,874	22,986	18,118	10,762	7,328	6,263	15,325
Rad. inclin. (kWh/m²/día):	11,283	14,874	17,829	19,781	19,473	19,158	21,547	21,754	18,371	12,693	12,533	12,161	18,888

ORIGEN DE LOS DATOS: Libro "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas".  
ORGANISMO: Centro de Estudios de la Energía (Ministerio de Industria y Energía).

### DATOS RELATIVOS A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS

Número de ocupantes:	100
Consumo por ocupante (L/día):	15
Consumo de agua a máxima ocupación (L/día):	1.500
Temperatura de utilización (°C):	60

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
% de ocupación:	100	100	100	100	100	100	75	75	100	100	100	100	96
Días del mes en funcionamiento:	31	28	31	30	31				30	31	30	31	273
Horas de funcionamiento diarias:	12	12	12	12	12				12	12	12	12	12
Horas de funcionamiento mensuales:	372	336	372	360	372				360	372	360	372	3276

### DATOS RELATIVOS AL SISTEMA

Captadores: Icano VHM 2.1

Curva de rendimiento del colector:  $r = 0,808 - 3,34 * (t_e - t_a) / t_e$

$t_e$ :	Temperatura de entrada del fluido al colector
$t_a$ :	Temperatura media ambiente
$I$ :	Radiación en (W/m²)

Factor de eficiencia del colector:	0,808	
Coefficiente global de pérdida (W/m²°C):	3,34	
Volumen de acumulación (L/m³):	51	
Caudal en circuito primario [(L/h)/m] - [(Kgh)/m³]:	41	
Caudal en circuito secundario [(L/h)/m] - [(Kgh)/m³]:	41	
Calor específico en circuito primario (Kcal/Kg °C):	0,88	60% agua 40% glicol
Calor específico en circuito secundario (Kcal/Kg °C):	1	Agua
Eficiencia del intercambiador:	0,8	

### CÁLCULO ENERGÉTICO

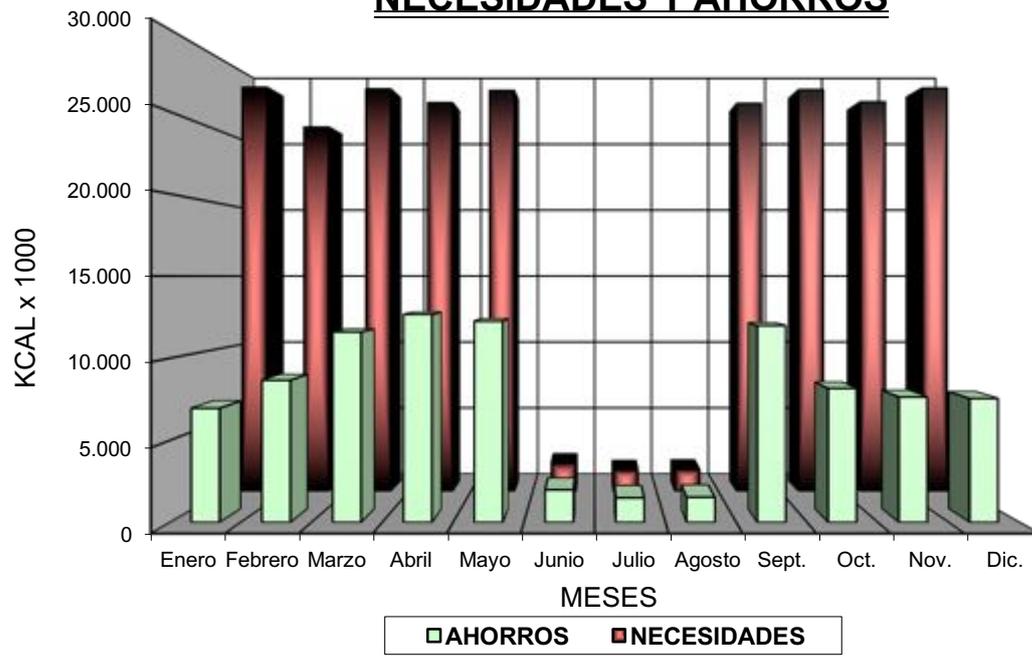
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Consumo de agua (m³):	48,5	42,0	46,5	45,0	46,5	45,0	34,9	34,9	45,0	46,5	45,0	46,5	524,3
Incremento Tª (°C):	30,0	48,8	47,6	46,4	45,2	44,0	42,8	44,0	45,2	46,4	47,6	48,8	
Ener. Nec. A.C.S (Kcal/1000):	2.325	2.060	2.213	2.088	2.102	1.980	1.493	1.535	2.034	2.158	2.142	2.269	24.380
Potencia calefacción (Kcal/h):	69432,63	69432,63	69432,63	69432,63	69432,63				69432,63	69432,63	69432,63	69432,63	69432,63
Horas de funcionamiento:	372	336	372	360	372				360	372	360	372	3276
Ener. Nec. calef. (Kcal/1000):	25.829	23.329	25.829	24.996	25.829				24.996	25.829	24.996	25.829	227.461
Ener. Nec. total (Kcal/1000):	28.154	25.379	28.042	27.084	27.931	1.980	1.493	1.535	27.030	27.987	27.138	28.098	251.849

### DATOS DE SALIDA

Número de colectores:	54	9 Baterías de 6 en paralelo
Area colectores (m²):	156,60	
Inclinación (°):	45,00	Relación entre volumen/area
Volumen de acumulación (L):	6.000	01,0895683 01,0895683 entre 50 y 180

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. (Kcal/1000):	28.154	25.379	28.042	27.084	27.931	1.980	1.493	1.535	27.030	27.987	27.138	28.098	251.849
Alorhos (Kcal/1000):	6.946	6.657	11.993	12.667	12.248	1.980	1.493	1.535	11.985	8.180	7.632	7.544	92.437
Alorhos total (%):	24,7	34,1	41,3	46,8	43,8	100,0	100,0	100,0	44,3	29,2	28,1	26,8	36,7

## NECESIDADES Y AHORROS



## ANEXO IV: FICHAS TÉCNICAS

### Captadores solares:



VHM 2.1 - 2.7

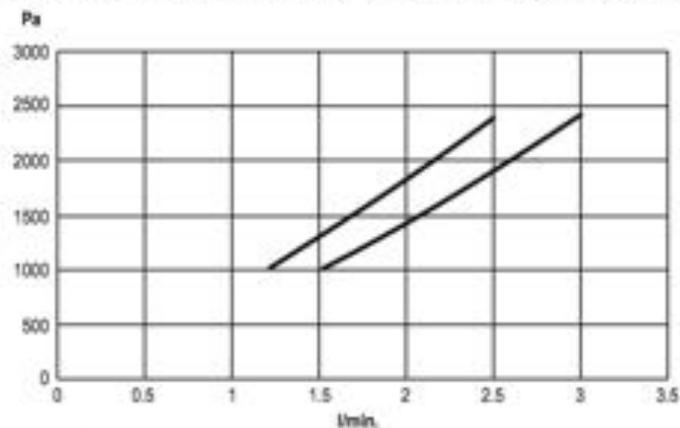
#### DATOS TÉCNICOS

Tabla de datos técnicos

Modelo		2.1	2.7	Medidas del colector	
Área bruta	m <sup>2</sup>	2.9	3.65		
Área de la abertura	m <sup>2</sup>	1.82	2.36		
Ancho	mm	1037	1314		
Altura (H)	mm	2018	2018		
Profundidad	mm	89	89		
Número de conexiones	nº	4	4		
Medida de la conexión	Ø	3/4"	3/4"		
Rendimiento óptico (ref. abertura)	%	80.8	80.8		
Coefficiente transmisión térmica a1 (ref. abertura)	W/m <sup>2</sup> K	3.334	3.334		
Coefficiente transmisión térmica a2 (ref. abertura)	W/m <sup>2</sup> K	0.02	0.02		
Peso	kg	34.4	42.4		
Contenido de agua	l	0.85	1.09		
Presión máxima funcionamiento	bar	10	10		
Temperatura de estancamiento	°C	204.9	204.9		
Capacidad térmica (ref. abertura)	kJ/m <sup>2</sup> K	4.93	4.93		
Factor de corrección ángulo de irradiación K <sub>a</sub> (30°)		0.95	0.95		
Caudal fluido caloportador	l/h	1.8	2.2		
Caudal máx. fluido caloportador	l/h	2.5	3.0		
Número máximo de colectores en batería	nº	8	8		
Absorbedor tratado con óxido de titanio					
Grado de absorción	%	95	95		
Emisividad	%	5	5		
Aislamiento con lana de roca de alta densidad, espesor:	mm	40	40		
Cristal prismático templado extra claro, espesor:	mm	3.2	3.2		
Transmitancia	%	>90	>90		

#### Pérdidas de carga

Pérdida de carga de un colector por la solución de anticongelante con fluido caloportador a 50 °C



Dimensionamiento del tubo para la conexión de los colectores al acumulador:

Área de colectores - m <sup>2</sup>	- 4	- 8	- 12	- 24
Diámetro del tubo / cobre	10 - 12	15	18	22
Diámetro del tubo / tubo ondulado de acero inox.	DN 15		DN 20	

**Advertencia:** La tabla es solo orientativa. En presencia de resistencias adicionales (codos, etc.) o de tubos con longitud superior a 20 - 30 m, puede ser necesario utilizar un tamaño superior.



## Bomba de circulación circuito primario solar:

### Especificaciones

Producto:	UPS 32-160 F
Código:	96402737
Número EAN:	5700390679545

### Técnico

Nº de velocidad	2
Caudal real calculado	1.839 l/s
Altura resultante de la bomba	8.891 m
Altura máxima	52.5 ft
Homologaciones en placa	CUL
Modelo	C

### Materiales

Cuerpo hidráulico	Fundición
Cuerpo hidráulico	EN-JL1040
Cuerpo hidráulico	ASTM 35 B - 40 B
Impulsor	Acero inoxidable
Impulsor	DIN W.-Nr. 1.4301
Impulsor	AISI 304

### Instalación

Rango de temperaturas ambientales	32 .. 104 °F
Presión de trabajo máxima	145,04 psi
Tipo de brida	USA Oval
Tipo de conexión	F
Diámetro de conexiones	GF 40/43
Presión	145 psi
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga	13 1/2 en

### Líquido

Líquido bombeado	Agua de calefacción
Rango de temperatura del líquido	14 .. 248 °F
Liquid temperature during operation	140 °F
Densidad	61.35 lb/ft³
Viscosidad cinemática	1 cSt

### Datos eléctricos

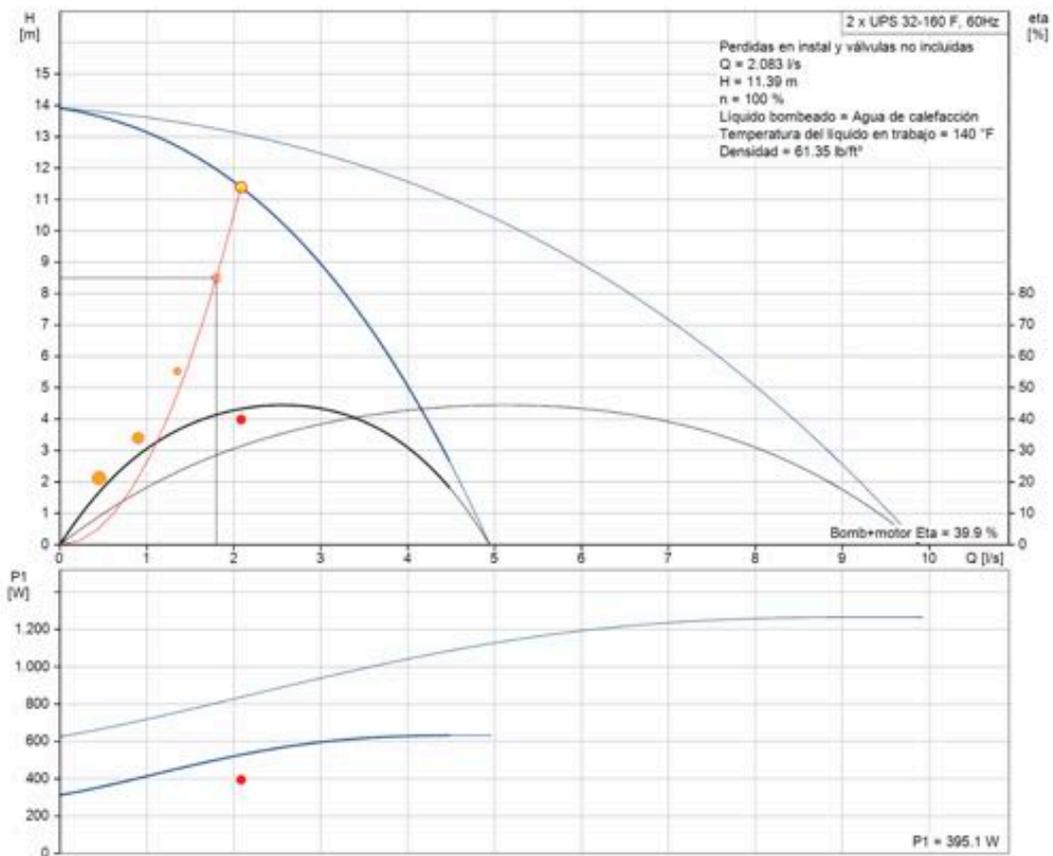
Potencia de entrada en velocidad 2	430 W
Potencia de entrada en velocidad 3	600 W
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Tensión nominal	3 x 480 V
Intensidad en velocidad 2	0.63 A
Corriente en velocidad 3	0.98 A
Cos phi en velocidad 2	0.86
Cos phi	0.77
Grado de protección (IEC 34-5)	X4D
Clase de aislamiento (IEC 85)	F
Protección del motor	Contacto exterior
Protección térmica	53.5 - 70.0 ohm

### Paneles control

Relé	sin relé
Posición caja de terminales	1.30H

### Otros

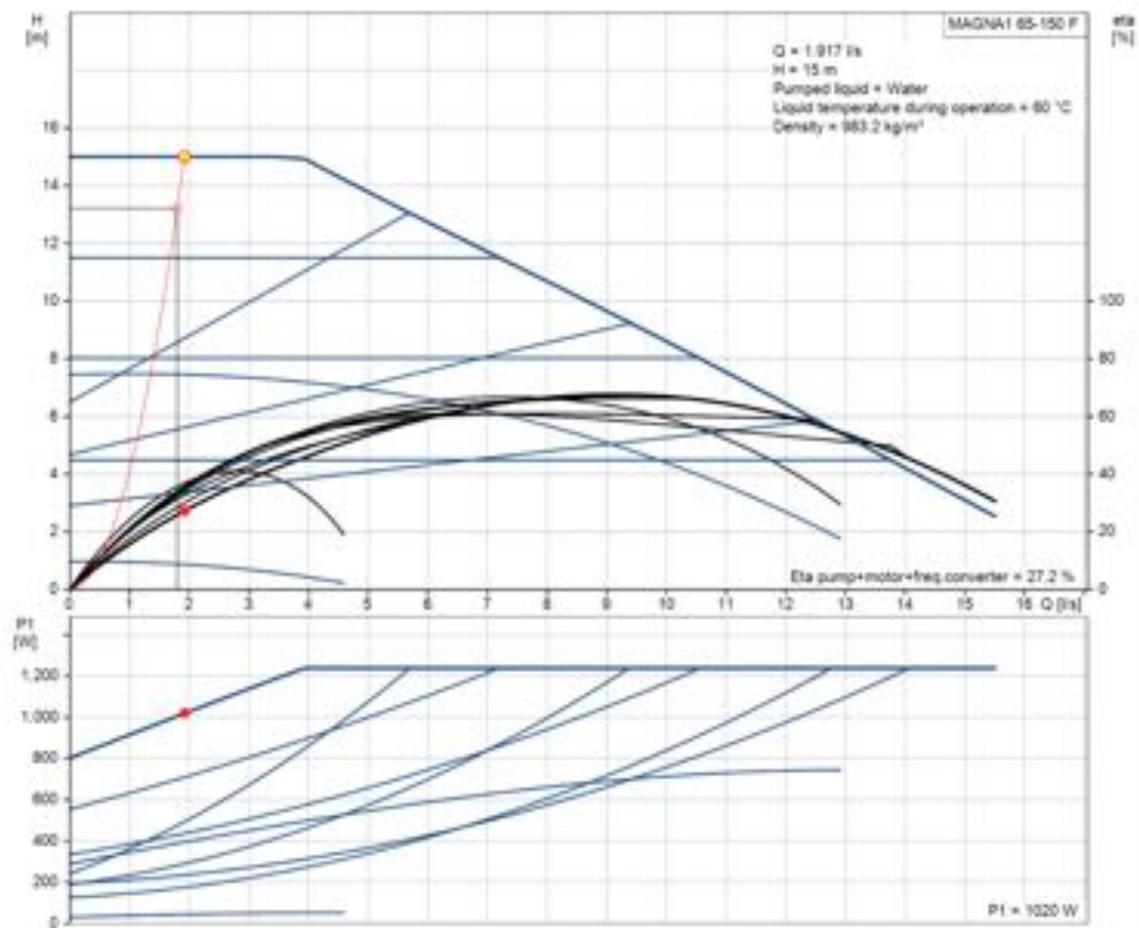
Peso neto	37.7 lb
Peso bruto	44.3 lb
Volumen	2.08 ft³
Area de ventas	Namreg
Country of origin	DE
Custom tariff no.	8413.70.2005



## Bomba de circulación circuito secundario solar:

### Specifications

<b>Product name</b>	MAGNA1 65-150 F	<b>Installation</b>	
<b>Product No</b>	97924207	Range of ambient temperature	0 - 40 °C
<b>EAN number</b>	5710628462817	Maximum operating pressure	10 bar
		Flange standard	DN
<b>Technical</b>		Pipe connection	DN 65
Actual calculated flow	1.915 l/s	Pressure rating	PN6/10
Resulting head of the pump	15 m	Port-to-port length	340 mm
Head max	150 dm		
TF class	110	<b>Liquid</b>	
Approvals on nameplate	CE,VDE,EAC	Pumped liquid	Water
Model	B	Liquid temperature range	-10 - 110 °C
		Concentration	40 %
<b>Materials</b>		Liquid temperature during operation	60 °C
Pump housing	Cast iron	Density	983.2 kg/m <sup>3</sup>
Pump housing	EN-GJL-250		
Pump housing	ASTM A48-250B	<b>Electrical data</b>	
Impeller	PES 30%GF	Power input - P1	30.7 - 1263 W
		Mains frequency	50 Hz
		Rated voltage	1 x 230 V
		Maximum current consumption	0.31 - 5.53 A
		Enclosure class (IEC 34-5)	X4D
		Insulation class (IEC 85)	F
		<b>Others</b>	
		Energy (EEI)	0.18
		Net weight	24.3 kg
		Gross weight	26.6 kg
		Shipping volume	57.4 m <sup>3</sup>



## Intercambiador de calor:



### INTERCAMBIADORES DE PLACAS

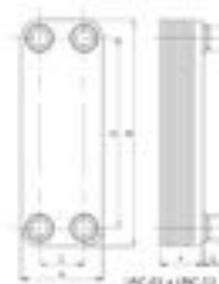
INTERCAMBIADORES DE PLACAS COMPACTOS		Ref.	Nº de placas	Caudal (litros) 50°C	Potencia (kW) <sup>(1)</sup>	Pérdida de carga (m.c.a.)	A x B x F	E	C	D	Conexiones
Temperatura máx. de trabajo	135 / 150°C <sup>(2)</sup>	LPC-01	20	1.000	45	< 3	70 x 192 x 42,32	20,1	40	154	3/4"
Presión máx. de trabajo	16 / 25 bar <sup>(3)</sup>	LPC-02	20	3.000	90	< 6	70 x 375 x 42,32	20,1	40	278	3/4"
Aplicaciones	Líquidos/líquido	LPC-03	20	3.000	140	< 6	119 x 289 x 48,8	45	72	243	1"
Chasis	AISI 316	LPC-04	30	4.000	185	< 6	119 x 289 x 71,2	45	72	243	1"
Placas	AISI 316	LPC-05	40	5.000	235	< 6	119 x 289 x 93,6	45	72	243	1"
Conexiones	AISI 316	LPC-07	40	7.000	325	< 8	119 x 376 x 93,6	45	83	330	1.5/4"
Conexiones	AISI 316	LPC-08	40	10.000	405	< 8	119 x 376 x 136,4	45	83	330	1.5/4"
Complementos	Aislamiento térmico	LPC-12	70	12.000	560	< 8	119 x 376 x 180,8	45	83	330	1.5/4"

(1) La temperatura máxima de trabajo para los modelos LPC-01 y LPC-02 es de 135°C, para el resto de 150°C.

(2) La presión máxima de trabajo para los modelos LPC-01 a LPC-05 es de 16 bar, para el resto de 25 bar.

(3) Potencia definida según Primera 90/60°C y secundaria 10/50°C.

Opcional: otros presiones, temperaturas o fluidos.



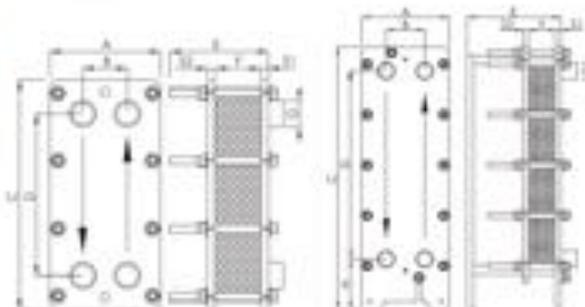
LPC-01 a LPC-12

INTERCAMBIADORES DE PLACAS DESMONTABLES		Ref.	Nº de placas	Caudal (litros) 50°C	Potencia (kW) <sup>(1)</sup>	Pérdida de carga (m.c.a.)	A x C x F mm	E (max) mm	B mm	D mm	H mm	G mm
Temperatura máx. de trabajo	110°C	LPD-00	5	1.000	48	< 3	304 x 490 x 13,25	290	96	381	-	1.04"
Presión máx. de trabajo	10 bar	LPD-01	7	1.300	63	< 3	304 x 490 x 18,55	290	96	381	-	1.04"
Aplicaciones	Líquido/líquido	LPD-02	11	2.600	120	< 3	304 x 490 x 25,15	290	96	381	-	1.04"
Chasis	Acero carbono	LPD-03	13	3.200	148	< 3	304 x 490 x 34,45	290	96	381	-	1.04"
Placas	AISI 316	LPD-04	17	4.200	195	< 3	304 x 490 x 45,25	290	96	381	-	1.04"
Conexiones	AISI 316	LPD-05	21	5.200	242	< 3	304 x 490 x 55,65	290	96	381	-	1.04"
Juntas	EPDM	LPD-07	27	6.600	305	< 3	304 x 490 x 71,55	290	96	381	-	1.04"
Complementos	Aislamiento térmico No soporte <sup>(2)</sup>	LPD-10	37	8.600	400	< 3	304 x 490 x 98,25	290	96	381	-	1.04"
		LPD-12	45	10.000	480	< 3	304 x 490 x 119,25	290	96	381	-	1.04"
		LPD-21	22	15.700	725	< 3	312 x 963 x 90,3	660	140	690	185	2"
		LPD-22	28	20.500	950	< 3	312 x 963 x 101,3	660	140	690	185	2"
		LPD-23	35	25.000	1150	< 3	312 x 963 x 122,3	660	140	690	185	2"

(1) Potencia definida según Primera 90/60°C y secundaria 10/50°C.

(2) Para modelos LPD-00 a LPD-12.

Opcional: otros presiones, temperaturas o fluidos, Chasis y placas en AISI-304, 316 y titanio.



LPD-00 a LPD-12

LPD-21 a LPD-23

**DATOS REQUERIDOS PARA REALIZAR UNA OFERTA DE UN INTERCAMBIADOR DE PLACAS A MEDIDA.** Para facilitar una oferta específica sobre intercambiadores de placas más apropiados para cada caso, la oferta deberá indicar los datos siguientes sobre el conjunto de circuitos primario y secundario:

- Caudales del circuito primario y secundario
- Temperaturas de entrada/salida de los circuitos primario y secundario
- Propiedades físicas de los líquidos (si no son ni agua ni vapor), densidad y calor específico
- Presión de trabajo deseada
- Pérdida de carga.

## Vaso de expansión:

### Modelos con patas 10 bar (Membrana recambiable)

Peso Kg.	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua	Euros (€)
					Ø D (mm)	H (mm)		
10	01035070	35 SMR-P	35	10	360	615	1"	77,54
12	01050070	50 SMR-P	50	10	360	750	1"	90,15
16	03080070	80 SMR-P	80	10	450	750	1"	113,67
18	03100070	100 SMR-P	100	10	450	850	1"	165,58

Peso Kg.	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua	Euros (€)
					Ø D (mm)	H (mm)		
49	03200070	220 SMR	200	10	485	1400	1 1/2"	353,11
60	03300070	350 SMR	300	10	485	1965	1 1/2"	447,64
90	03500070	500 SMR	500	10	600	2065	1 1/2"	628,73
158	03700070	700 SMR	700	10	700	2145	1 1/2"	1.061,75



Equipo de control diferencial:

## Reguladores diferenciales para la aplicación en sistemas solares

Con carátula de plástico de fácil montaje y dimensiones compactas y pantalla de texto con control de menú mediante 3 botones

### Central Solar Termix Plus

- ▶ Termostato universal para la aplicación en sistemas de Energía Solar.
- ▶ Calorimetría integrada.
- ▶ Facilidad de uso.
- ▶ Control de funcionamiento.
- ▶ Regulación de velocidad de hasta 3 bombas.
- ▶ Múltiples valores ajustables: limitación de temperatura mínima y máxima, diferencia de puesta en marcha y parada, temperatura máxima de acumulación, protección antihielo, función de refrigeración del acumulador, función de refrigeración de colectores solares, parada de seguridad, control de funciones (automático/manual).
- ▶ Preprogramado para 30 sistemas solares y de calefacción.
- ▶ Equipado con interfaz RS232 para la comunicación de datos y el mantenimiento remoto.
- ▶ 6 sondas PT1000 incluidas (2 para exteriores con cable de sílica de 1,5 m, 4 para interiores con cable de 2,5m).



### Central Solar Termix Cool

- ▶ Calorimetría integrada.
- ▶ Facilidad de uso.
- ▶ Control de funcionamiento.
- ▶ Regulación de bombas.
- ▶ Múltiples valores ajustables: limitación de temperatura mínima y máxima, diferencia de puesta en marcha y parada, temperatura máxima de acumulación, protección antihielo, función de refrigeración del acumulador, función de refrigeración de colectores solares, parada de seguridad, control de funciones (automático/manual).
- ▶ 3 sondas PT1000 incluidas (1 para exteriores con cable de sílica de 1,5 m, 2 para interiores con cable de 2,5 m).



### Características técnicas

	CENTRAL SOLAR TERMIX PLUS	CENTRAL SOLAR TERMIX COOL
Carátula	De plástico PC-ABS y PMMA.	
Medidas	220 x 135 x 62 mm.	172 x 110 x 66 mm.
Protección	IP20 / DIN 40850	
Pantalla digital	LCD con display multifuncional	
Rango de control	-40 ... +160 °C.	
Temperatura ambiente	0 ... 40 °C.	
Entradas	10 entradas para sondas PT1000, CS10, V40	4 entradas para sondas PT1000
Salidas	6 salidas de relé (3 para regulación de la velocidad)	2 salidas de relé estándar
Bus	RS232	---
Alimentación	230 V AC, ± 10%.	
Consumo aproximado	2 W.	

## Bombas geotérmicas:

### flexoTHERM exclusive



**10 AÑOS DE GARANTÍA DEL COMPRESOR**

1182 x 595 x 600 mm

**ERP**

- EVI. La mejor tecnología disponible en geotermia
- Frio/calor. Equipos reversibles
- Regulador balance de energía
- Bomba de circulación de alta eficiencia de clase A del circuito de la fuente de calor
- Bomba de circulación de alta eficiencia de clase A del circuito de calefacción
- Limitador de corriente de arranque
- Resistencia adicional de apoyo a la calefacción y protección Legionela
- Gestión de lectura de temperatura exterior, calefacción y ACS para la gestión integral de la instalación
- Dispositivo de control remoto por VR 920, para la gestión del equipo vía internet
- Ínfimo nivel sonoro, apto ubicación en cocina
- Circuito de refrigeración totalmente controlado por sensores
- Puesta en marcha gratuita
- A++ máxima clasificación energética
- Válvula diversora para la producción de ACS
- multIMATIC VRC 700 incluido de serie

Máxima clasificación energética posible

Sistema flexible: una única referencia para geotermia y para evaporación por aire o agua, mediante combinación de accesorios ad hoc con conexión plug & play. Equipo reversible con producción de agua caliente sanitaria.

Módulo plug & play para refrescamiento gratuito, integrado en el armario de la bomba de calor. Perfecto para hibridación con gestión del coste energético (integración eBus con generadores ecoTEC) o rehabilitación (hasta 65°C), y en sistemas wellCONFORT con recoVAIR, mediante el regulador común, multIMATIC VRC 700.

Equipos silenciosos con gestión del nivel sonoro piHarmonic, mediante el control de la frecuencia para evitar molestias al oído humano. Todo en un moderno diseño para su integración en cualquier espacio de la vivienda.

Modelo	Unidad	VWF 57	VWF 67	VWF 117	VWF 157	VWF 197
<b>Pozo cerrado</b>						
Eficiencia energética sistema 55°C		A++	A+++	A+++	A+++	A+++
Ref. 400 V + multIMATIC inal.		00 2027 5159	00 2027 5160	00 2027 5161	00 2027 5162	00 2027 5163
Precio 400 V + multIMATIC inal.	EUR	7.420	8.165	8.710	9.235	10.000
Ref. 400 V + multIMATIC cabl.		00 2023 1520	00 2023 1521	00 2023 1522	00 2023 1523	00 2023 1524
Precio 400 V + multIMATIC cabl.	EUR	7.380	8.125	8.670	9.195	9.960
Potencia calorífica / frigorífica <sup>1</sup>	kW	5,9/7,1	9,8/9,2	12,4/15,8	16,0/17,4	22,0/24,1
Coef. de rendimiento COP <sup>1</sup> / EER <sup>2</sup>		5,2/6,4	5,6/5,2	5,6/6,9	5,5/5,9	5,3/5,5
Caudal nominal circuito calefacción	l/h	920	1.530	1.960	2.450	3.320
Caudal nominal circuito captadores	l/h	1.290	2.320	3.000	3.590	4.780
Nivel de presión sonora <sup>3</sup>	dB(A)	32	34	37	42	40

Sondas geotérmica:

# Gama Sistema FERROTERM

## 04.1 Sistemas de captación

### SONDAS VERTICALES

Fabricadas en polietileno de alta densidad **PE-100** según las exigencias y criterios de la norma **UNE EN 12201**, con una resistencia nominal a presión interna de **16 bar**.

Llevan un marcaje en rojo y otro en azul para diferenciar idas y retornos, y tapones en los mismos colores para proteger el interior de las tuberías.

Poseen un **excelente coeficiente de conductividad térmica** y una **elevada resistencia a los impactos y arañazos** que se puedan producir al introducir las perforaciones.

El pie de sonda está formado por una pieza en U de PE-100, con presión nominal 16 bar, electrosoldable, cuya soldadura es realizada y testada en fábrica.

Se suministran en rollos de sondas simples (2 tubos de Ø 40) o dobles (4 tubos de Ø 32 o 40). En el caso de las sondas dobles se incluye un tornillo para la unión de las U.

SONDA VERTICAL GEOTERMIA PE-100 SIMPLE						
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espesor (mm)	Long. sonda (m)	Peso (Kg)	
246001	2	40	3,7	80	68	
246002	2	40	3,7	100	84	
246003	2	40	3,7	125	105	
246004	2	40	3,7	150	126	
SONDA VERTICAL GEOTERMIA PE-100 DOBLE						
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espesor (mm)	Long. sonda (m)	Peso (Kg)	
246005	4	32	2,9	80	87	
246006	4	32	2,9	100	109	
246007	4	32	2,9	125	136	
246008	4	32	2,9	150	163	
246009	4	40	3,7	80	136	
246010	4	40	3,7	100	168	
246011	4	40	3,7	125	210	
246012	4	40	3,7	150	252	

Para otras medidas consultar

## Bomba de circulación tubos de captación geotérmica:

### Especificaciones

Producto:	ALPHA2 15-80 130
Código:	98676765
Número EAN:	5711499431613
Precio	569,00 EUR €

### Técnico

Altura máxima	80 dm
Clase TF	110
Homologaciones en placa	VDE,CE,EAC
Modelo	D

### Materiales

Cuerpo hidráulico	Fundición
Cuerpo hidráulico	EN-GJL-150
Cuerpo hidráulico	ASTM A48-150B
Impulsor	PES 30 % FIBRA VIDRIO

### Instalación

Rango de temperaturas ambientales	0 .. 40 °C
Presión de trabajo máxima	10 bar
Diámetro de conexiones	G 1
Presión	PN 10
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga	130 mm

### Líquido

Líquido bombeado	Glicol etileno
Rango de temperatura del líquido	2 .. 110 °C
Concentración	30 %
Liquid temperature during operation	2 °C
Densidad	1051 kg/m³
Viscosidad cinemática	3,67 mm²/s

### Datos eléctricos

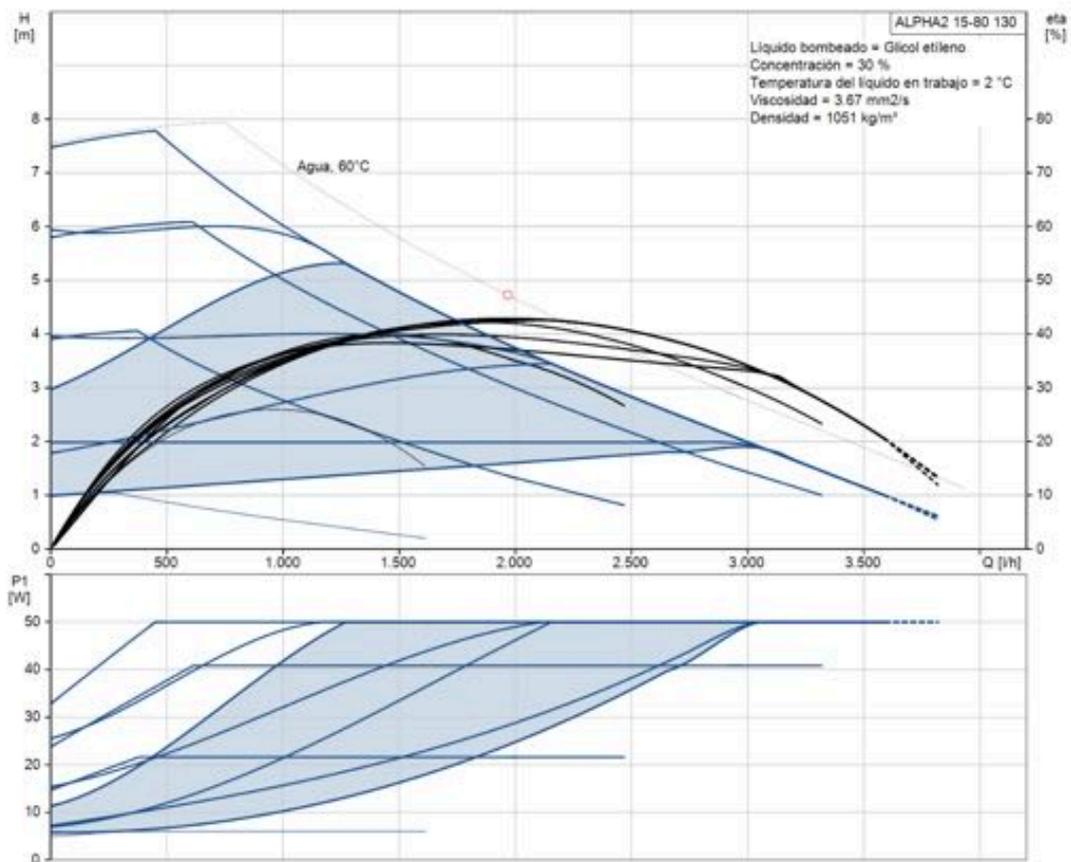
Potencia - P1	3 .. 50 W
Frecuencia de alimentación	50 Hz
Tensión nominal	1 x 230 V
Consumo de corriente máximo	0,04 .. 0,44 A
Grado de protección (IEC 34-5)	X4D
Clase de aislamiento (IEC 85)	F
Protección del motor	Ninguno
Protección térmica	ELEC

### Paneles control

Nocturno auto.	función de ahorro nocturno automático incluida
Posición caja de terminales	6H

### Otros

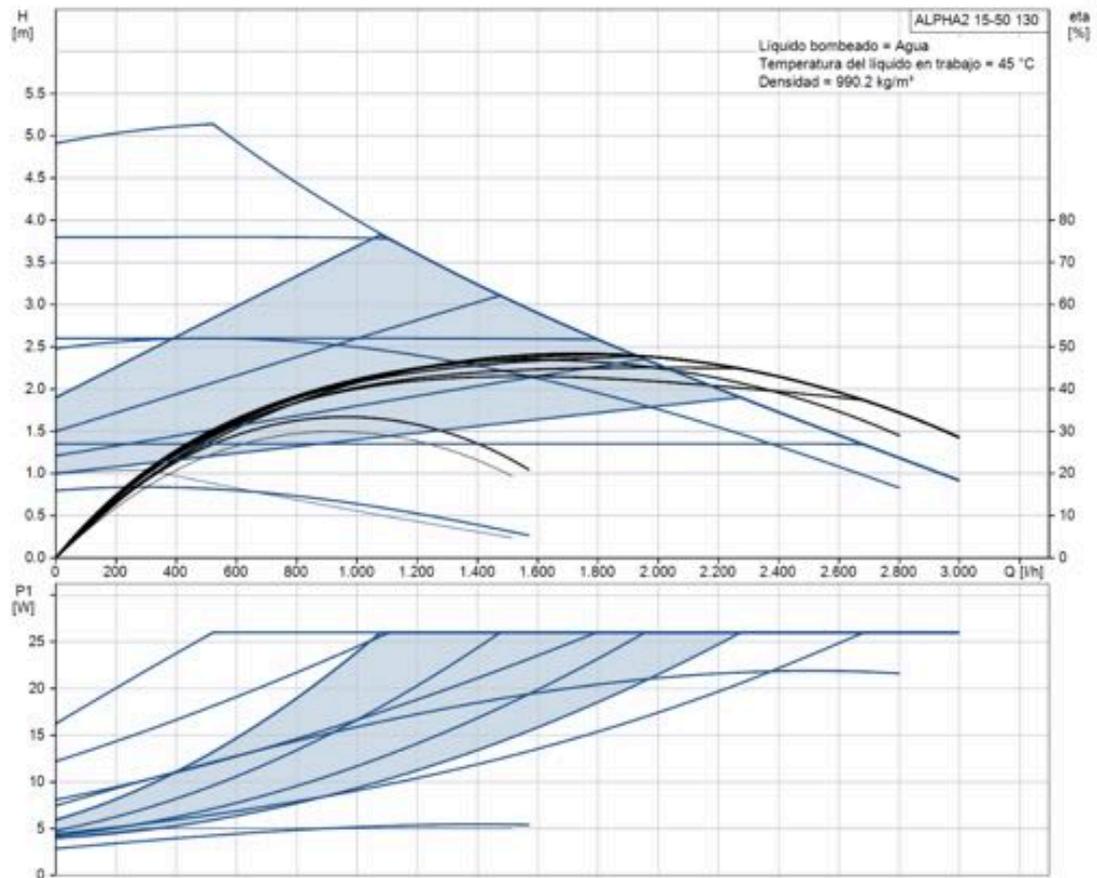
Energía (EE)	0,18
Peso neto	1,73 kg
Peso bruto	1,89 kg
Volumen	0,004 m³
Danish VVS No.	380470080
Country of origin	DK
Custom tariff no.	84137030



## Bomba de circulación tubos del circuito secundario geotérmico:

### Especificaciones

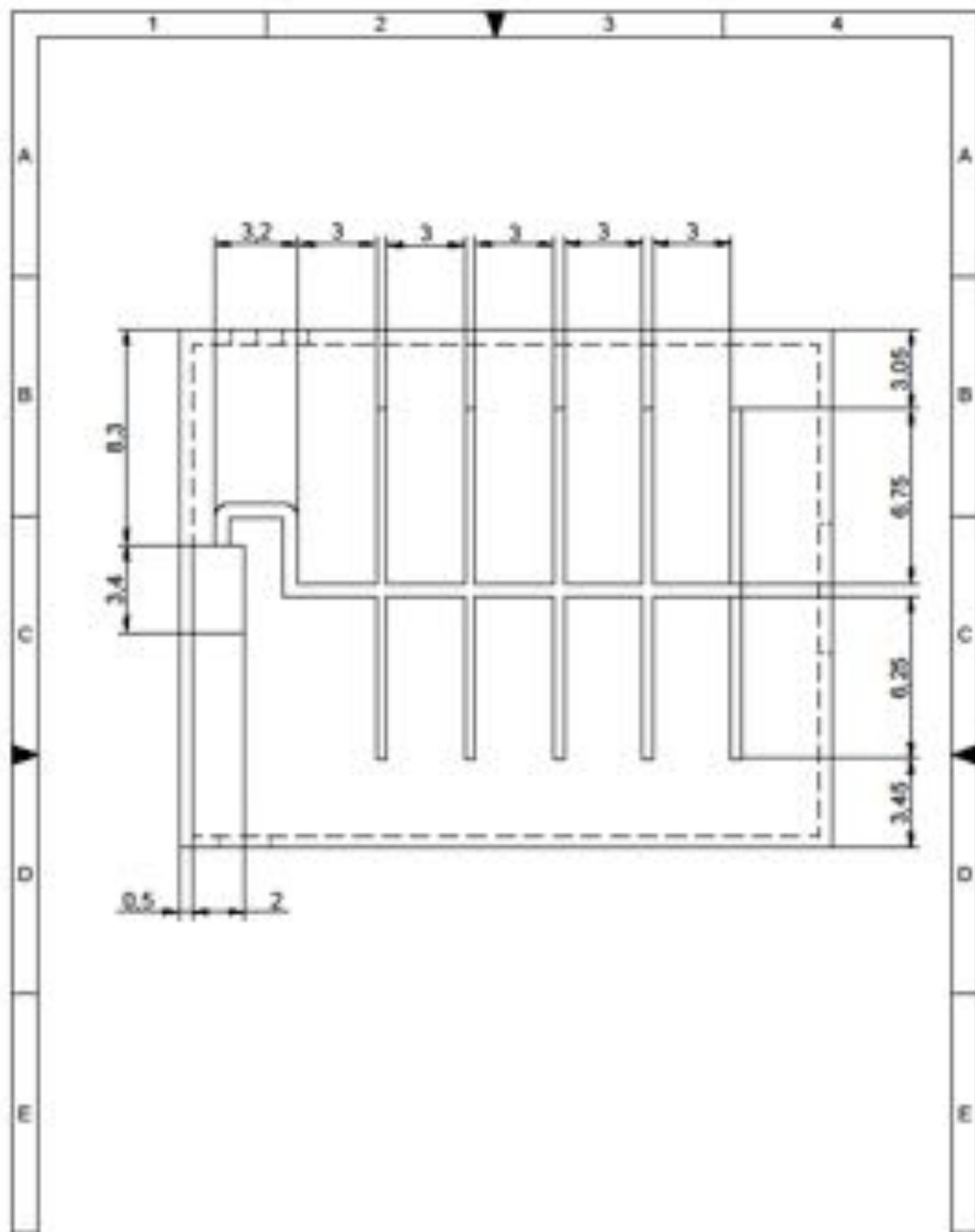
Producto:	ALPHA2 15-50 130	Líquido	Agua
Código:	97993193	Líquido bombeado	Agua
Número EAN:	5710627540326	Rango de temperatura del líquido	2 .. 110 °C
Precio	481,00 EUR E	Liquid temperature during operation	45 °C
		Densidad	990.2 kg/m³
		Viscosidad cinemática	0.59 mm²/s
<b>Técnico</b>		<b>Datos eléctricos</b>	
Altura máxima	50 dm	Potencia - P1	3 .. 26 W
Clase TF	110	Frecuencia de alimentación	50 Hz
Homologaciones en placa	VDE,CE,EAC	Tensión nominal	1 x 230 V
Modelo	D	Consumo de corriente máximo	0.04 .. 0.24 A
<b>Materiales</b>		Grado de protección (IEC 34-5)	X4D
Cuerpo hidráulico	Fundición	Clase de aislamiento (IEC 85)	F
Cuerpo hidráulico	EN-GJL-150	Protección del motor	Ninguno
Cuerpo hidráulico	ASTM A48-150B	Protección térmica	ELEC
Impulsor	PES 30 % FIBRA VIDRIO		
<b>Instalación</b>		<b>Paneles control</b>	
Rango de temperaturas ambientales	0 .. 40 °C	Nocturno auto.	función de ahorro nocturno automático incluida
Presión de trabajo máxima	10 bar	Posición caja de terminales	6H
Diámetro de conexiones	G 1		
Presión	PN 10	<b>Otros</b>	
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga	130 mm	Energía (EE)	0.16
		Peso neto	1.73 kg
		Peso bruto	1.89 kg
		Volumen	0.004 m³
		Swedish RSK No.	5731802
		Norwegian NRF no.	9042036
		Country of origin	DK
		Custom tariff no.	84137030



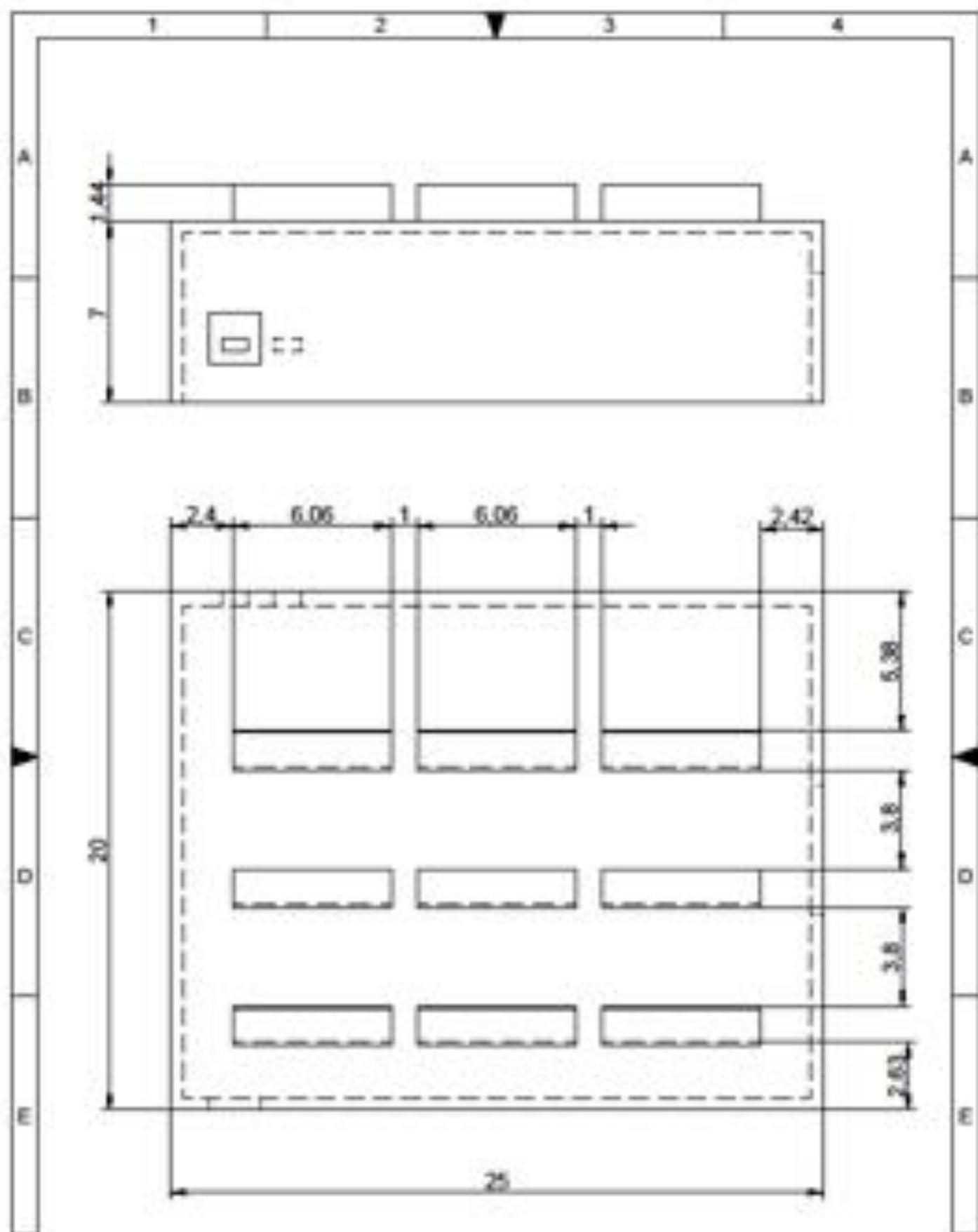


## ANEXO V: PLANOS

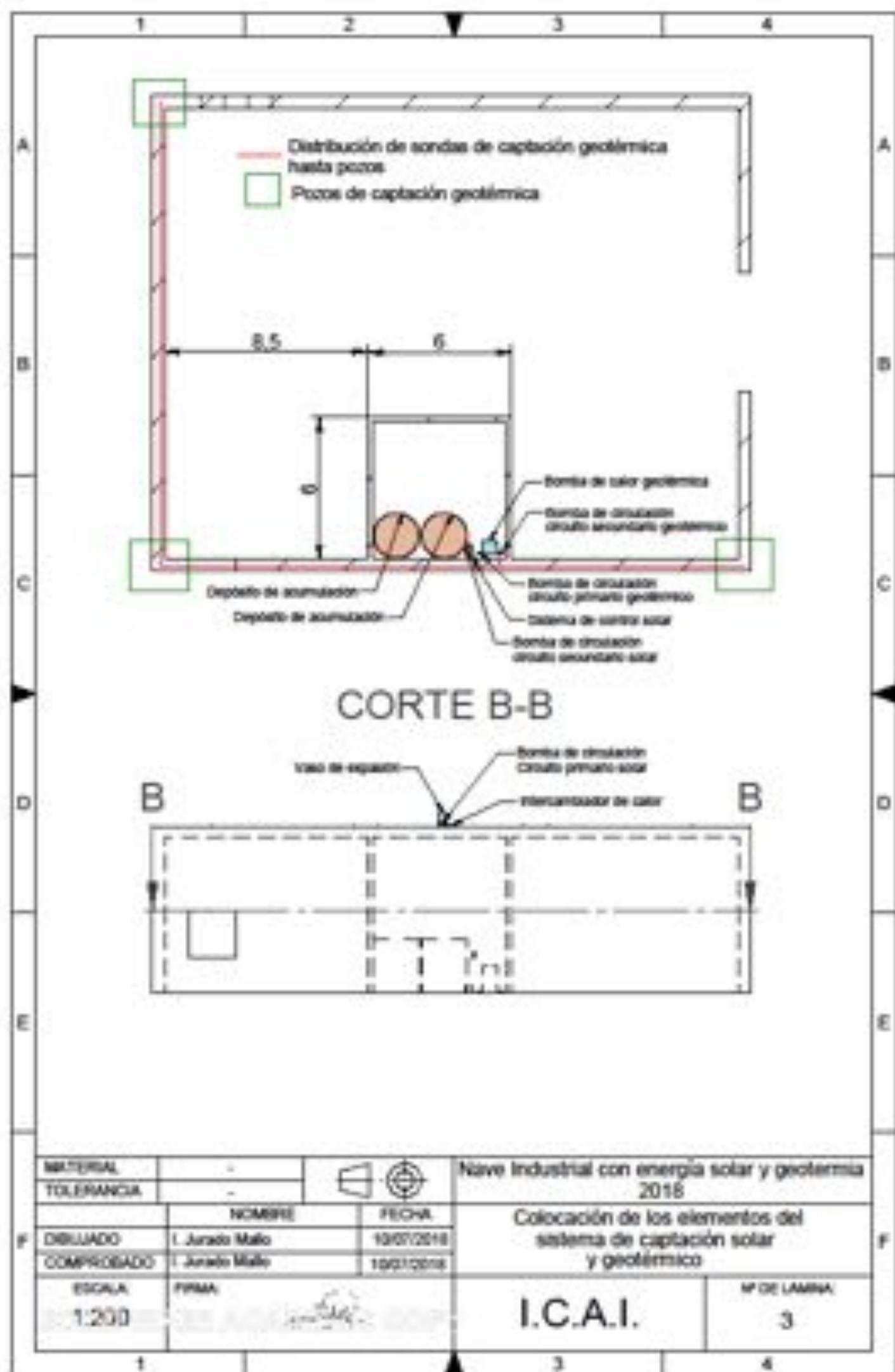
- Lámina 1. Plano del sistema de ventilación de la nave industrial.
- Lámina 2. Distribución de las baterías de paneles solares en la cubierta de la nave industrial.
- Lámina 3. Colocación de los elementos del sistema solar y geotérmico en la nave industrial.
- Lámina 4. Localización de la nave industrial. Fuente: Google Maps.

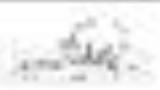


MATERIAL	-		Nave Industrial con energía solar y geotermia 2018	
TOLERANCIA	-		Sistema Ventilación Nave Industrial	
	NOMBRE	FECHA		
DIBUJADO	Jurado Milla	10/07/2018		
COMPROBADO	Jurado Milla	10/07/2018		
ESCALA	FIRMA	I.C.A.I.		Nº DE LAMINA
1:200				1



MATERIAL	-		Nave Industrial con energía solar y geotermia 2018	
TOLERANCIA	-		Distribución de baterías de paneles solares en la cubierta de la nave	
	NOMBRE	FECHA		
DIBUJADO	Jurado Mello	10/07/2018		
COMPROBADO	Jurado Mello	10/07/2018		
ESCALA	FIRMA	I.C.A.I.		Nº DE LAMINA
1:200				2



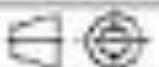
<table border="1"> <tr> <td>MATERIAL</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>TOLERANCIA</td> <td>-</td> </tr> </table>	MATERIAL	-	TOLERANCIA	-		Nave Industrial con energía solar y geotermia 2018	
MATERIAL	-						
TOLERANCIA	-						
DIBUJADO I. Jurado Malo	NOMBRE	FECHA	Colocación de los elementos del sistema de captación solar y geotérmico				
	I. Jurado Malo	10/01/2018					
COMPROBADO I. Jurado Malo	FIRMA 	10/01/2018	Nº DE LAMINA 3				
ESCALA 1:200	I.C.A.I.						



Localización de la nave industrial



Vista del recinto donde se localiza la nave industrial desde el exterior

MATERIAL	-		Nave industrial con energía solar y geotermia 2018	
TOLENCANCIA	-		Localización de la nave industrial (Google Maps)	
	NOMBRE	FECHA		
DELLUADO	I. Jurado Mallo	10/07/2018		
COMPROBADO	I. Jurado Mallo	10/07/2018		
ESCALA	FIRMA	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA 4

## ANEXO VI: BIBLIOGRAFÍA

- [1] Global Methane Initiative (GMI), "Las emisiones globales de metano y oportunidades de mitigación", [Internet]. Disponible: <https://www.globalmethane.org>
- [2] California Public Utilities Commission (CPUC), "The San Bruno catastrophe and its aftermath", California, Mayo 2012.
- [3] Real Academia Española (RAE), definición.
- [4] Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), "Guía práctica de la rehabilitación de edificios", Madrid, Abril 2008.
- [5] Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), "Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyectos", Madrid, Junio 2010.
- [6] Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), "Guía técnica de agua caliente sanitaria central", Madrid, Junio 2010.
- [7] Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), "Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura", Madrid, Enero 2009.
- [8] Jorge Luis Jaramillo (JLJ), "Sistemas solares-térmico: Algoritmo operativo para aplicar el método FChart la evaluación de colectores solares", Loja, 2010.
- [9] Instrucciones de puesta en Servicio para los captadores solares VHM 2.1-2.7, [Internet]. Disponible: <https://www.todoprix.com/media/wysiwyg/PDF/COINTRA/Ficha-captador-solar-icaro-cointra-es.pdf>
- [10] Dirección General de Vivienda (SGV), "Código técnico de la edificación. Documento básico Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación", Madrid, Septiembre 2007.
- [11] Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), "Análisis del Recurso. Atlas eólico de España. Estudio técnico PER 2011-2020", Madrid, 2011.
- [12] Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Datos climatológicos de la Comunidad de Madrid.
- [13] Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), "Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado", Madrid, Junio 2012.

- [14] Iberdrola, Plan estable para negocios, [Internet]. Disponible: <https://www.iberdrola.es/negocios/luz/plan-estable>
- [15] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (METAD), “Resolución del 22 de marzo de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se publica la tarifa de último recurso de gas natural”, Madrid, Marzo 2018.
- [16] Tuti Mariana Lim (TML), para School of Civil and Environmental Engineering de Nanyang Technological University (TML), “Effect of Energy on environment”, Singapore, 2017.
- [17] Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), “Factor de emisiones de CO2 y coeficiente de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios de España”, Madrid, Julio 2014.



## ANEXO VII: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones técnicas de las instalaciones solares térmicas de baja temperatura vienen definidas según la IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía). A continuación, se realizará un resumen de dicho documento tal y como viene definido en el mismo.

### Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura:

#### 1. Requisitos generales:

Se definen y fijan las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones solares térmicas para calentamiento de líquido a baja temperatura.

Este Pliego de Condiciones Técnicas (PCT) es de aplicación para instalaciones con captadores cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior o igual a  $9 W/(m^2\text{°C})$ .

Se consideran tanto sistemas prefabricados como a medida, explicados en la Tabla X.

Tabla 1. División de sistemas solares de calentamiento prefabricados y a medida.

Sistemas solares prefabricados (*)	Sistemas solares a medida (**)
Sistemas por termosifón para agua caliente sanitaria.	Sistemas de circulación forzada (o de termosifón) para agua caliente y/o calefacción y/o refrigeración y/o calentamiento de piscinas, montados usando componentes y configuraciones descritos en un archivo de documentación (principalmente sistemas pequeños).
Sistemas de circulación forzada como lote de productos con configuración fija para agua caliente sanitaria.	Sistemas únicos en el diseño y montaje, utilizados para calentamiento de agua, calefacción y/o refrigeración y/o calentamiento de piscinas o usos industriales (principalmente sistemas grandes).
Sistemas con captador-depósito integrados (es decir, en un mismo volumen) para agua caliente sanitaria.	

(\*) También denominados “equipos domésticos” o “equipos compactos”. (\*\*) También denominados “instalaciones diseñadas por elementos” o “instalaciones partidas”.

Se considerarán, dos grupos dependiendo del rango de temperatura de trabajo:

- Las instalaciones de producción de agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas, precalentamiento de agua de aporte de procesos industriales, calefacción por suelo radiante o “fan-coil” u otros usos a menos de 60 °C, podrán emplear captadores cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior a  $9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$ .
- Las instalaciones destinadas a climatización, calefacción por sistemas diferentes a suelo radiante o “fan-coil”, u otros usos en los cuales la temperatura del agua de aporte a la instalación solar y la de referencia de producción se sitúen en niveles semejantes, deberán emplear captadores cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior a  $4,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$ .

#### Fluido de trabajo:

Como fluido de trabajo en el circuito primario se utilizará agua de la red o agua con aditivos, según las características climatológicas del lugar y del agua utilizada. Como aditivos se utilizarán anticongelantes y en ocasiones anticorrosivos.

El pH a 20 °C del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales será el siguientes:

- a) La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles.
- b) El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l. expresados como contenido en carbonato cálcico.
- c) El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

Se evitará la mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación.

#### Protección contra heladas:

Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deberán ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema. Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra heladas.

Como sistemas de protección anti-heladas podrán utilizarse:

**Mezclas anticongelantes:** su calor específico no será inferior a  $3 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ , equivalentes a  $0,7 \text{ kcal}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ , medido a una temperatura 5 °C menor que la mínima histórica registrada. Se deberán tomar precauciones para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante. La instalación dispondrá de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y para asegurar que el anticongelante está perfectamente mezclado.

**Recirculación del agua del circuito:** asegurará que el fluido de trabajo está

en movimiento cuando exista riesgo de helarse. El sistema de control actuará, activando la circulación del circuito primario, cuando la temperatura detectada preferentemente en la entrada de captadores o salida o aire ambiente circundante alcance un valor superior al de congelación del agua. Se evitará, siempre que sea posible, la circulación de agua en el circuito secundario.

**Drenaje automático con recuperación del fluido:** el fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente es drenado a un depósito, para su posterior uso, cuando hay riesgo de heladas. El sistema de control actuará sobre la electroválvula de drenaje cuando la temperatura detectada en los captadores, alcance un valor superior al de congelación del agua. El sistema requiere utilizar un intercambiador de calor entre los captadores y el acumulador para mantener en éste la presión de suministro de agua caliente.

**Sistemas de drenaje al exterior:** el fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente es drenado al exterior cuando hay riesgo de heladas. Este sistema no está permitido en los sistemas solares a medida.

#### Sobrecalentamientos

**Protección contra sobrecalentamientos:** el sistema deberá estar diseñado de tal forma que, con altas radiaciones solares prolongadas sin consumo de agua caliente, no se produzcan situaciones en las cuales el usuario tenga que realizar alguna acción especial para llevar al sistema a su forma normal de operación.

Cuando el sistema disponga de la posibilidad de drenajes como protección ante sobrecalentamientos, la construcción deberá realizarse.

**Protección contra quemaduras:** los sistemas de agua caliente sanitaria, donde la temperatura de agua caliente en los puntos de consumo pueda exceder de 60 °C deberá ser instalado un sistema automático de mezcla u otro sistema que limite la temperatura de suministro a 60°C, aunque en la parte solar pueda alcanzar una temperatura superior para sufragar las pérdidas.

**Protección de materiales y componentes contra altas temperaturas:** el sistema deberá ser diseñado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

Resistencia a presión: se deberán cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 12976-1.

Prevención de flujo inverso: la instalación del sistema deberá asegurar que no se produzcan pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema. En sistemas con circulación forzada se aconseja utilizar una válvula anti-retorno para evitar flujos inversos.

Prevención de la legionelosis: la temperatura del agua en el circuito de

distribución de agua caliente no deberá ser inferior a 50 °C en el punto más alejado. La instalación permitirá que el agua alcance una temperatura de 70 °C.

## 2. Criterios generales de diseño:

### Dimensionado básico

El dimensionado básico de las instalaciones se refiere a la selección de la superficie de captadores solares y al volumen de acumulación solar.

El dimensionado básico deberá realizarse de forma que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar supere el 110% de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100 %.

El rendimiento de la instalación se refiere a la parte solar de la misma. En caso de sistemas de refrigeración por absorción se refiere a la producción de la energía solar térmica necesaria para el sistema de refrigeración.

Se definen los conceptos de fracción solar y rendimiento medio estacional o anual de la siguiente forma:

- Fracción solar mes "x" =  $(\text{Energía solar aportada el mes "x"} / \text{Demanda energética durante el mes "x"}) \times 100$
- Fracción solar año "y" =  $(\text{Energía solar aportada el año "y"} / \text{Demanda energética durante el año "y"}) \times 100$
- Rendimiento medio año "y" =  $(\text{Energía solar aportada el año "y"} / \text{Irradiación incidente año "y"}) \times 100$
- Irradiación incidente año "y" = Suma de las irradiaciones incidentes de los meses del año "y"
- Irradiaciones incidentes en el mes "x" = Irradiación en el mes "x"  $\times$  Superficie captadora

El método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por:

- La demanda de energía térmica.
- La energía solar térmica aportada.
- Las fracciones solares medias mensuales y anual.
- El rendimiento medio anual.

Independientemente de lo especificado en los párrafos anteriores, en el caso de A.C.S. se debe tener en cuenta que el sistema solar se debe diseñar y calcular en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación.

El área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición de  $50 < V/A < 180$ .

Para instalaciones de climatización de piscinas exclusivamente, no se podrá usar ningún volumen de acumulación, aunque se podrá utilizar un pequeño almacenamiento de inercia en el primario.

Para instalaciones de climatización se dimensionará el volumen de acumulación para que se cubran las necesidades de energía demandada durante, al menos, una hora. De cualquier forma, se recomienda usar una relación de V/A entre 25 l/m<sup>2</sup> y 50 l/m<sup>2</sup>

### Diseño del sistema de captación

Se recomienda que los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos.

**Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica:** La orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la tabla.

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

*Tabla X. Límites de pérdidas debido a orientación, inclinación y sombra.*

**Conexionado:** los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas.

La superficie de una fila de captadores conexiados en serie no será superior a 10 m<sup>2</sup>.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores.

**Estructura soporte:** para sistemas que poseen una estructura soporte que es montada en el exterior, el fabricante deberá especificar los valores máximos de carga de nieve y velocidad media de viento.

Esto deberá verificarse durante el diseño calculando los esfuerzos de la estructura soporte de acuerdo con estas normas.

El diseño permitirá las necesarias dilataciones térmicas.

Los topes de sujeción de los captadores y la propia estructura no arrojarán

sombra sobre estos últimos.

### Diseño del sistema de acumulación solar

Los acumuladores serán a ser posible de configuración vertical y se ubicarán en zonas interiores.

Para aplicaciones combinadas con acumulación centralizada además se debe cumplir que la relación altura/diámetro del mismo sea mayor de dos.

En caso de que el acumulador esté directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, deberá ubicarse un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario. El sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60 °C y hasta 70 °C .

Los acumuladores de los sistemas grandes a medida con un volumen mayor de 2 metros cúbicos deberán llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.

#### **Situación de las conexiones:**

- Conexión de entrada de agua caliente se realizará, a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo.
- La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.
- La alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior.
- La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.
- Para varias aplicaciones dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta que las salidas que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.

Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

**Varios acumuladores:** cuando sea necesario que el sistema de acumulación solar esté formado por más de un depósito, éstos se conectarán en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados. Permitiendo la desconexión individual sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.

**Sistema auxiliar en el acumulador solar:** no se permite la conexión de un sistema auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una

disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones. Existen circunstancias específicas que permitirían una incorporación auxiliar en la parte superior del depósito.

#### Diseño del sistema de intercambio

La potencia mínima de diseño del intercambiador independiente,  $P$ , en vatios, en función del área de captadores  $A$ , en metros cuadrados, cumplirá la condición:

$$P > 500 A$$

El intercambiador independiente será de placas de acero inoxidable o cobre y deberá soportar las temperaturas y presiones máximas de trabajo de la instalación.

El intercambiador del circuito de captadores incorporado al acumulador solar estará situado en la parte inferior de este último y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente, de serpentín o de haz tubular. La relación entre la superficie útil de intercambio del intercambiador incorporado y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

#### Diseño del circuito hidráulico

**Tuberías:** longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general.

**Bombas:** las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal. En instalaciones con superficies de captación superiores a 50 metros cuadrados se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, evitando esfuerzos de torsión o flexión.

**Vasos de expansión:** se conectarán en la aspiración de la bomba.

**Purga de aire:** los sistemas de purga de aire se colocarán en los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado. El volumen útil del botellín será superior a 100 centímetros cúbicos.

**Drenaje:** los conductos de drenaje de las baterías de captadores se diseñarán para evitar congelamientos.

### Diseño del sistema de energía auxiliar

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía auxiliar.

Queda prohibido el uso de sistemas de energía auxiliar en el circuito primario de captadores.

El diseño del sistema de energía auxiliar se realizará en función de la aplicación (o aplicaciones) de la instalación, de forma que sólo entre en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación solar.

Para ello se seguirán los siguientes criterios:

- Para pequeñas cargas de consumo se recomienda usar un sistema de energía auxiliar en línea, siendo para estos casos los sistemas de gas modulantes en temperatura los más idóneos.
- Para la preparación de agua caliente sanitaria, se permitirá la conexión del sistema de energía auxiliar en paralelo con la instalación solar cuando se cumplan los siguientes requisitos cuando exista una preinstalación solar que impida o dificulte el conexionado en serie.
- Para sistemas con energía auxiliar en paralelo es necesario un sistema de regulación del agua calentada por el sistema solar y auxiliar

Para A.C.S., el sistema de aporte de energía auxiliar con acumulación o en línea siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación.

Cuando el sistema de energía auxiliar sea eléctrico, la potencia correspondiente será inferior a 300 W por cada metro cuadrado de superficie captadora.

### Diseño del sistema eléctrico y de control

El diseño del sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de

las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada. Asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, ni inferiores a 3°C por encima de la temperatura de congelación del fluido.

El sistema de control se realizará por control diferencial de temperaturas, mediante un dispositivo electrónico (módulo de control diferencial, en los esquemas representado por MCD) que compare la temperatura de captadores con la temperatura de acumulación o retorno. 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.

Las sondas de captación de temperatura se colocarán en la parte superior de los captadores.

#### Diseño del sistema de monitorización

Para el caso de instalaciones mayores de 20 m<sup>2</sup> se deberá disponer al menos de un sistema analógico de medida local que indique como mínimo las siguientes variables:

##### Opción 1:

- Temperatura de entrada de agua fría de red
- Temperatura de salida del acumulador solar
- Caudal de agua fría de red

##### Opción 2:

- Temperatura inferior del acumulador solar
- Temperatura de captadores
- Caudal por el circuito primario

