ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV

Autor: Pedro Alonso del Yerro

Director: Javier García Mata

Madrid

Mayo 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. PEDRO ALONSO DEL YERRO DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV, 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) Reproducirla 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 exclusive 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 12 de JULIO de 2018

ACEPTA

Fdo.....

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

IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico...2017/18 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.: Pedro Alonso del Yerro Fecha: 12/ 07/ 2018

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Luis Javier Mata Fecha: 12/ 07/ 2018

MATA GARCIA LUIS JAVIER - 09793455D

Firmado digitalmente por MATA GARCIA LUIS JAVIER - 09793455D
Fecha: 2018.07.12 19:48:24 +02'00'

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV

Autor: Pedro Alonso del Yerro

Director: Javier García Mata

Madrid

Mayo 2018

IMPLEMENTACIÓN ENERGÍA SOLAR PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV

Autor: Alonso del Yerro, Pedro

Directores: García Mata, Javier

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción

En este proyecto vamos a diseñar un sistema que nos permita obtener ACS (Agua Caliente Sanitaria) para uso industrial mediante el aprovechamiento de la energía solar. Las energías renovables están adquiriendo cada vez más importancia, a medida que pasan los años, debido a que los recursos empleados hasta ahora empiezan a escasear o a perjudicar a nuestro planeta. Contribuir a este cambio está en manos de todos los seres humanos, especialmente en las nuestras, los ingenieros, cuya formación nos ha permitido adquirir conocimientos que puedan desarrollar o mejorar este tipo de fuentes de energía.

El uso industrial al que vamos a enfocar nuestra instalación es el lavado de vehículos de la empresa EMOV. El sistema será instalado en uno de los centros de operaciones de esta empresa, situado en la calle Doctor Esquerdo, en Madrid. En este centro cargan, reparan y limpian parte de la flota disponible. La idea es contribuir al sistema de lavado.

Hoy en día existen varias empresas del mismo estilo que EMOV, empresas de "carsharing" con coches eléctricos. Este proyecto conseguiría diferenciar a EMOV, posicionándola en la más renovable de todas, pues ninguna otra cuenta con este tipo de instalaciones. Esto es algo que motiva bastante a esta empresa para invertir en nuestra idea.

2. Metodología

Partiremos realizando un estudio del consumo anual de la empresa a aplicar. Una vez tengamos un valor anual, deberemos estudiar la viabilidad del proyecto, tanto económico como legislativo, pues existen una serie de normas impuestas por el IDAE como la aportación solar mínima de una instalación de baja temperatura como la nuestra.

Tras comprobar que nuestra instalación cumple con los requisitos mínimos, analizaremos distintos factores influentes en el proyecto, como el número de captadores, solares, la inclinación de estos, etc… Seguiremos estudiando nuestra instalación,

buscando los productos que mejor se adapten a nuestro proyecto (bombas, válvulas, acumuladores…).

Una vez tengamos todos los elementos de nuestra instalación definidos, estudiaremos la viabilidad económica, analizando la coherencia de la misma, y el plan de amortización de nuestro proyecto.

3. Resultados

Nuestra instalación proporcionaría un valor de 48570,26KW/anuales. Esto supone un ahorro total del 66,6%, superior al mínimo anual exigido.

Hemos obtenido una instalación solar térmica cuya inversión inicial debe ser de 21530,30€, amortizables a los cinco años de uso. Son datos bastante coherentes y realistas.

4. Conclusiones

La conclusión final es que merece la pena invertir en una instalación de este tipo, pues, a parte de suponer una contribución al medio ambiente, supondría un ahorro económico a largo plazo considerable.

Además, la implementación de este proyecto animaría e impulsaría a otras empresas del mismo sector a invertir y apostar por estas tecnologías. Estas energías renovables están evolucionando constantemente. Se podría afirmar que son el futuro.

5. Referencias

Nuestra principal fuente de información ha sido el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Nos ha proporcionado todo tipo de procedimientos a seguir, y de requisitos que nuestra instalación debía de cumplir. El CTE (Código Técnico de Edificación), El Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura y AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) han servido de mucha ayuda también en este proyecto.

SOLAR THERMAL TECHNOLOGY IMPLEMENTATION FOR HOT SANITARY WATER APPLIED TO THE CAR-WASHING TUNNEL OF THE COMPANY EMOV

Author: Alonso del Yerro, Pedro

Directors: Mata García, Javier

Entity: ICAI- Universidad Pontificia Comillas

PROJECT SUMMARY

1. Introduction

The idea of this project is to set up an installation based in the principle of thermal solar energy for the production of hot sanitary water. This water is going to have an industrial utility: car-wash. We are going to implement this to the car-wash tunnels of the company EMOV.

Renewable energies are purchasing big importance now days. Actually, the world is experimenting a global change. Human beings have being a big reason of this global change since industrial revolution in XVIII century. The evolution of actual technologies let us contribute this problem with this renewable energies and, thermal solar energy is one of the most advanced. This is something that really motivate me to carry out this project. As an industrial engineer, I have the duty of providing my knowledge gained in my career.

2. Procedure

We are going to start analyzing the hot water anual consumption of this company. Once we have an anual data, we are going to study the viability of this project, not only economic, but also legally. There are a several rules imposed by the government such as a minimal solar contribution, for example. We are going to make sure our installation is okay with all of this regulations.

Once we know our project is on the same page with this rules, we are going to analyze the different factors that affect to this installation: number of solar panels, inclination, etc… Installation elements such as pumps, valves, and so are going to be analyzed also.

The last thing to study is the economic viability, regarding the coherence and realism, and carrying out an amortization plan. Depending on the results we will see if an investment on this installation worths it or not.

3. Results

Our installation is going to contribute a total value of 48570,26KW/per year. This is up to 66,6% of the total energy production, being beyond the minimal limits.

It will suppose a principal investment of 21530,30€, recovering this investment in the fith year of use. This values are very coherent and realist.

4. Conclusion

Final conclusión is that it really worth it to invest in this type of project. Besides being beneficial economically, it is a contribution to the environment.

Also, the implementation of this installation would encourage other companies to bet on this kind of projects. This renewable energies are constantly progressing, we could say they are the future.

5. References

Our principal source of information has being the IDAE (Spanish Institute for the Energy Diversificaton and Energy Saving). CTE (Spanish Technical Building Code) and the different technical conditions of low temperature installations have being also very frequently used.

ÍNDICE

Apartados

1. Introducción 17
   1.1 Estado de la cuestión 17
   1.2 Motivación 18
   1.3 Objetivos del proyecto 18
   1.4 Recursos que emplear 19
2. Criterios generales de diseño 20
   2.1 Instalación 20
   2.2 Especificaciones climáticas 21
   2.3 Teoría de captación 22
   2.4 Demanda energética 23
3. Diseño del sistema de captación 25
   3.1 Contribución solar mínima 25
   3.2 Captadores solares 26
   3.3 Cobertura solar 27
   3.4 Orientación e inclinación 29
   3.5 Conexionado 31
   3.6 Distancia mínima entre filas de captadores 32
4. Diseño del circuito hidráulico 34
   4.1 Circuito hidráulico primario 35
      4.1.1 Tuberías 35
      4.1.2 Intercambiador de calor 38
      4.1.3 Bombas 39
   4.2 Circuito hidráulico secundario 45
      4.1.4 Tuberías 45
      4.1.5 Bombas 45
5. Otros componentes 47
   5.1 Válvulas 47
   5.2 Acumulador 47
   5.3 Vasos de expansión 49
      5.3.1 Vaso de expansión circuito primario 50
      5.3.2 Vaso de expansión circuito secundario 51

5.4 Purgadores de aire 52
5.5 Sistema eléctrico y sistema de monitorización 52
5.6 Aislamiento 54
6. Datos económicos del proyecto 55
6.2 Presupuesto económico 55
6.3 Viabilidad económica 57
7. Estudio básico de seguridad y salud 59
7.1 Identificación de la obra 59
7.2 Estudio preventivo de seguridad 59
7.2.1 Identificación previa 59
7.2.2 Factores de riesgo y medidas preventivas 60
7.2.3 Protecciones colectivas 64
7.2.4 Equipos de Protección Individual (E.P.I) 65
7.2.5 Incendios 66
7.2.6 Emergencias 66
7.3 Formación y procedimiento de trabajo 66
8. Pliego de condiciones técnicas 68
8.1 Objeto 68
8.2 Normativa aplicable 68
8.3 Condiciones de material y equipo 68
8.3.1 Captadores Solares 68
8.3.2 Tuberías 70
8.3.3 Accesorios 70
8.3.4 Válvulas 72
8.3.5 Aislamientos 73
8.3.6 Vasos de expansión 73
8.3.7 Bombas de circulación 74
8.3.8 Sistema eléctrico y de regulación 74
8.3.9 Aparatos de medida 75
8.3.10 Intercambiador de calor 76
8.3.11 Depósito acumulador 76
8.4 Condiciones de montaje 77
8.5 Mantenimiento 78

8.5.1 Programa de mantenimiento 78
8.5.2 Garantías 81
9. Elementos 83
9.1 Colectores 83
9.2 Intercambiador de calor 86
9.3 Bombas 87
9.4 Acumulador 88
10. Planos 90
11. Bibliografía 97

Figuras

Figura 1. Plano edificio Peugeot Dr. Esquerdo 20
Figura 2 Esquema de funcionamiento instalación ACS solar proporcionado por SUELOSOLAR 23
Figura 3. Zonas climáticas de España 25
Figura 4. Captador AM Tubosol 26
Figura 5. Ahorro energético..... 28
Figura 6. Disposición captador ángulo β..... 29
Figura 7. Disposición captador ángulo α..... 30
Figura 8. Pérdidas respecto a inclinación óptima para latitud de 41º..... 31
Figura 9. Distancia d y altura h según inclinación 32
Figura 10. Esquema instalación ACS..... 34
Figura 11. Dimensiones IPT 600..... 39
Figura 12. Bomba Alpha2 43
Figura 13. Curva funcionamiento Bomba ALPHA2 25-50 130 - 97993196 44
Figura 14. Curva Bomba ALPHA2 25-40 130..... 46
Figura 15. Depósito acumulador Corprimo 4000-SM1..... 48
Figura 16. Purgador de aire automático Caleffi SOLAR 52
Figura 17. Esquema instalación BM Solar según CTE 53
Figura 18. Factores de riesgo de productos químicos según FREMAP 63
Figura 19. Etiquetado de sustancias peligrosas. 64
Figura 20. Curva de rendimiento óptico..... 84
Figura 21. Curva de rendimiento según ángulo..... 84
Figura 22. Dimensiones..... 87
Figura 23. Dimensiones..... 88

Tablas

Tabla 1. Datos ciudad de Madrid por meses 21
Tabla 2. Factor k según orientación para latitud de 40º 22
Tabla 3. Datos relevantes del proyecto 24
Tabla 4. Energía anual demandada 24
Tabla 5. Contribución solar mínima en % 26
Tabla 6. Especificaciones técnicas AM Tubosol 27
Tabla 7. Ahorro anual 28
Tabla 8. Límite de pérdidas respecto al óptimo 29
Tabla 9. Propilenglicol a diferentes concentraciones 34
Tabla 10. Diámetros y pared de tubos de cobre según UNE - EN 1057 36
Tabla 11. Ficha técnica IPC 600 39
Tabla 12. Longitud equivalente para pérdida de carga 41
Tabla 13. Ficha técnica D-CE 150 50
Tabla 14. Ficha técnica D-CE 35 51
Tabla 15. Aislamientos mínimos según diámetros 54
Tabla 16. Alcance vigilancia establecida por el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. 78
Tabla 17. Sistema de captación 79
Tabla 18. Sistema de acumulación. 79
Tabla 19. Sistema de intercambio 80
Tabla 20. Sistema eléctrico y de regulación. 80
Tabla 21. Circuito hidráulico. 80
Tabla 22. Datos técnicos 83
Tabla 23. Condiciones 85
Tabla 24. Datos de funcionamiento IPT 86
Tabla 25. Datos técnicos y condiciones de diseño 86
Tabla 26. Dimensiones 86
Tabla 27. Datos técnicos 87
Tabla 28. Potencias eléctricas según volumen 89
Tabla 29. Pérdidas estáticas 89

1. Introducción

El Agua Caliente Sanitaria (ACS) es agua potable calentada destinada al consumo humano, tanto para usos sanitarios (duchas, baños, etc.) como para usos de limpieza (lavadoras, lavavajillas, etc.). La preparación del ACS es considerada el segundo gasto de energía más importante (después de la calefacción) de la edificación residencial, consumiendo cantidades de energía de entre el 20% y el 40% del total.

La sostenibilidad medioambiental es una preocupación de gran importancia hoy en día, y por ello se buscan nuevas formas de energía renovable. El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema que permita la aplicación de este tipo de energías: diseñaremos un sistema basado en energía solar térmica que produzca ACS para la limpieza de automóviles.

La industria automovilística está en plena revolución. Los coches eléctricos cada vez están más presentes entre nosotros. Hoy en día, aquella persona que disponga de un coche eléctrico cuenta con muchas comodidades. El gobierno ofrece facilidades tales como aparcamiento gratuito en toda la ciudad. Otro dato a favor de estos vehículos eléctricos es la increíble diferencia de costes entre el combustible actual (gasolina, diésel) y la corriente eléctrica. Un coche eléctrico obtiene una autonomía de 100km por aproximadamente 1,95€.

Queremos aplicar nuestro sistema a la empresa *Emov*. Esta empresa ofrece un servicio de movilidad ecológica, en el que el usuario puede coger y dejar el coche en cualquier punto de la ciudad que se encuentre dentro de la zona de servicio. *Emov* cuenta con más de 550 vehículos de la marca Citroën-CZero, de cinco puertas, cuatro plazas y totalmente eléctricos. La idea es poder implementar este sistema de energía solar térmica para ACS en los túneles de lavado de esta empresa.

Las máquinas de lavado han evolucionado con el paso del tiempo, antiguamente los lavados de vehículos se efectuaban a mano o con mangueras de agua. La evolución ha llevado al ahorro de agua y a la utilización de agua a presión que hace que arrastre el polvo y arranque mejor la suciedad adherida al vehículo. Los túneles de lavado más avanzados consumen un total de 100 litros de agua por coche. El agua empleada en estos túneles requiere altas temperaturas, lo que tradicionalmente se resuelve mediante calentadores eléctricos. El consumo de electricidad supone un alto coste económico, aquí es donde se pretende aportar innovación.

1.1 Estado de la cuestión

El principal problema de la energía solar es la baja eficacia que esta ofrece. Debido a la gran cantidad de agua diaria que supone calentar este proyecto, necesitaremos una cantidad muy elevada de captadores solares.

Otra opción sería utilizar este sistema como apoyo al actual. De esta forma seguiríamos utilizando los calentadores de siempre, pero de manera más económica. Complementaríamos la instalación actual con los captadores solares, que aportarían energía a través del sol reduciendo así el consumo total.

A pesar de la baja eficacia que ofrece este tipo de energía renovable, su implementación genera beneficios a largo plazo, trata de una fuente de energía ilimitada y requiere de un mantenimiento mucho menor

1.2 Motivación

Poder implementar un sistema que consiga calentar agua mediante una fuente natural es algo que motiva bastante este proyecto. Desde el inicio de la vida hemos tenido presente el Sol, una fuente de energía inagotable, que hemos empezado a aprovechar ahora.

La radiación solar interceptada por la Tierra constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance. La cantidad de energía solar captada por la Tierra anualmente representa 4.500 veces la energía que se consume. A pesar de su abundancia, el aprovechamiento de la energía solar está condicionado principalmente por tres aspectos: la intensidad de la radiación solar recibida por la Tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas de cada lugar.

Madrid es una ciudad cuya radiación solar se mantiene alta y constante a lo largo de todo el año, resultando ser un dato a favor de este proyecto.

1.3 Objetivos del proyecto

Implementación de la energía solar como fuente renovable

La sustitución del sistema actual por una instalación renovable para la producción de ACS es nuestro objetivo principal. Tendremos que analizar las condiciones de Madrid: disponibilidad de energía solar, radiación aprovechable... así como la posterior instalación, teniendo en cuenta el número de colectores necesarios, la orientación de estos... con el objetivo de conseguir un rendimiento óptimo. En conclusión, buscar la forma más eficiente de aprovechar esta energía solar de la forma más económica y sencilla.

Cabe destacar también la importancia que puede tener este proyecto para la evolución de este tipo de fuentes. Estas innovaciones son las que fomentan el progreso, el uso de estas fuentes renovables para otro tipo de industria, con distintos objetivos, de manera que en el futuro puedan ser aplicadas en más ámbitos de la vida cotidiana.

Por ejemplo, otra aplicación a la que podríamos implementar nuestros colectores solares sería a la recarga de los coches. A parte de aprovechar la energía solar para la producción de ACS, la energía restante obtenida por nuestros captadores podría ser

almacenada de forma que la empresa *Emov* la usara para recargar las baterías de su flota.

Sostenibilidad medioambiental

Un objetivo fundamental de este proyecto: la colaboración con el medio ambiente. El sistema utilizado actualmente para producir ACS utiliza combustible. Entre estos combustibles, el gas natural es considerado el menos contaminante. La composición química de este es la razón de su amplia aceptación como el más limpio de los combustibles fósiles. En efecto, la mayor relación hidrógeno/carbono en la composición del gas natural, en comparación con la de otros combustibles fósiles, hace que en su combustión se emita menos CO2 por unidad de energía producida. El día de mañana, las energías renovables conseguirán reducir estas emisiones a cero.

Reducción de costes

Este objetivo se llevaría a cabo en un periodo a largo plazo, pues la instalación del nuevo sistema supondría una gran inversión inicial, que sería amortizada con el paso de los años. Esta amortización se debería a la reducción del consumo de electricidad proveniente de la red eléctrica y del mantenimiento de estos colectores.

1.4 Recursos que emplear

Utilizaremos diferentes recursos para este proyecto. Empezaremos recopilando información proporcionada por la empresa *Emov*, en relación con el consumo de agua de los coches. Tendremos en cuenta los requisitos generales aportados por IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), así como la simulación de sistemas solares térmicos suministrados en F-Chart, programa de Censolar (Centro de Estudios de la Energía Solar).

Aplicaremos nuestros conocimientos sobre energía térmica para analizar la instalación numéricamente, obteniendo resultados sobre rendimientos y pérdidas. Compararemos estos resultados con las especificaciones técnicas de los distintos captadores que existen en el mercado.

También habrá que cumplir la normativa y los requisitos impuestos en la ley de Ordenación de la Edificación (L.O.E) por el Código Técnico de la Edificación (C.T.E).

2. Criterios generales de diseño

2.1 Instalación

La flota de esta empresa se encuentra en un garaje de la calle Dr. Esquerdo situado en el edificio del grupo PSA (Peugeot-Citroën). Este edificio se encuentra en una zona muy residencial de Madrid, rodeado de construcciones de la misma altura, sin riesgo de quedar ensombrecido por ninguna otra infraestructura. Aquí llevaremos a cabo nuestra instalación.

El túnel de lavado se encuentra en el garaje de este edificio. Implantaremos nuestros captadores solares y nuestros depósitos de ACS en la azotea del edificio, trasladando esta última hasta el túnel de lavado a través de conductos.

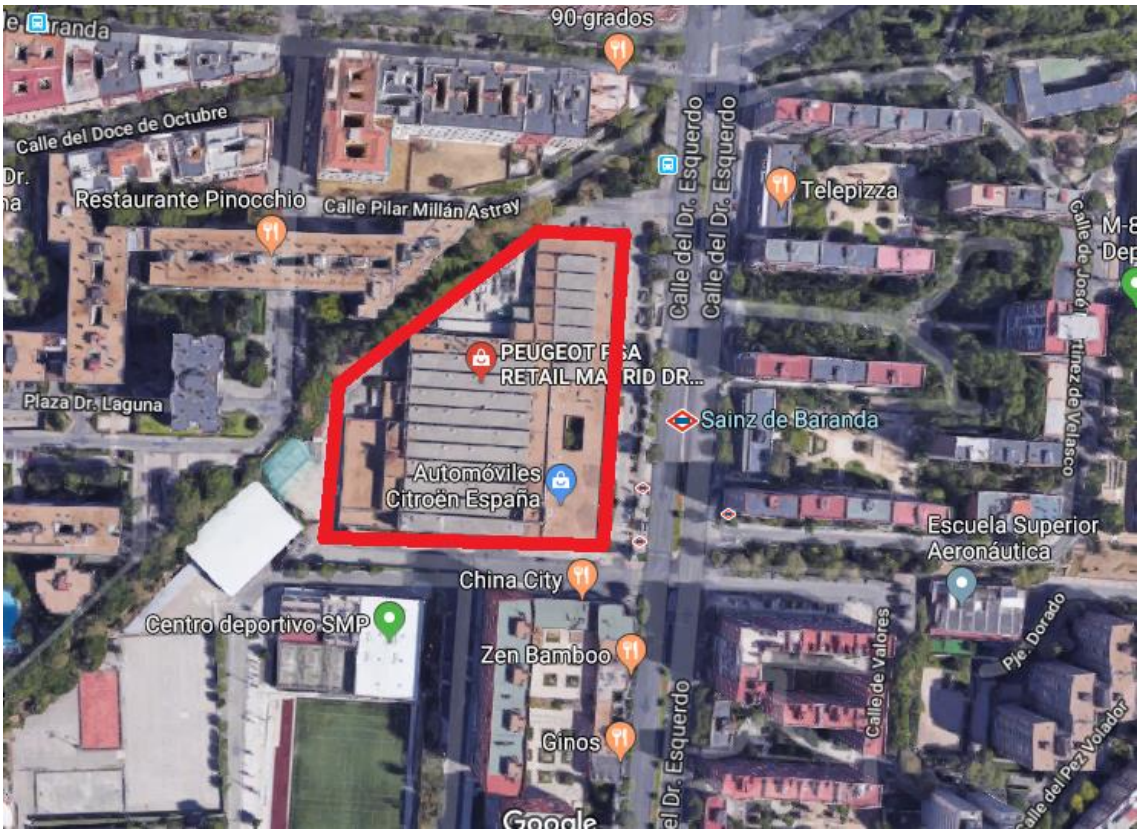


Figura 1. Plano edifício Peugeot Dr. Esquerdo

2.2 Especificaciones climáticas

En este apartado vamos a estudiar las condiciones climáticas de la zona donde va a estar situada nuestra instalación: la ciudad de Madrid. Más específicamente, en el barrio de El Retiro.

Tendremos en cuenta factores como la altitud, latitud, temperaturas máximas y mínimas, así como su humedad relativa. El factor más importante para tener en cuenta es la radiación solar emitida en cada mes del año en la ciudad de Madrid.

Tabla 1. Datos ciudad de Madrid por meses

Mes	Tº amb (ºC)	Energía (MJ/m2Horiz)	Rad. Horiz (kJ/m2/día)	Rad. Incl (kJ/m2/día)
Enero	6	6,7	6,4	11,3
Febrero	8	10,6	9,8	14,8
Marzo	11	13,6	14,1	17,6
Abril	13	18,8	19,5	19,8
Mayo	18	20,9	21,1	18,5
Junio	23	23,5	23,5	19,2
Julio	28	26	25,8	21,5
Agosto	26	23,1	22,9	21,7
Septiembre	21	16,9	16,1	18,4
Octubre	15	11,4	10,8	12,7
Noviembre	11	7,5	7,3	12,5
Diciembre	7	5,9	6,2	12,1
Anual	15,6	15,4	15,3	16,7

Vamos a tener en cuenta el factor *k* para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. Este factor depende de la latitud de la zona. Conociendo la latitud de Madrid (40,4º), la tabla más aproximada es la siguiente:

Tabla 2. Factor k según orientación para latitud de 40º

LATITUD = 40°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,07	1,06	1,05	1,03	1,02	1,01	1,02	1,03	1,05	1,08	1,09	1,09
10	1,14	1,11	1,08	1,05	1,03	1,02	1,03	1,06	1,1	1,14	1,17	1,16
15	1,2	1,16	1,12	1,07	1,03	1,02	1,04	1,08	1,14	1,21	1,25	1,24
20	1,25	1,2	1,14	1,08	1,03	1,02	1,03	1,09	1,17	1,26	1,32	1,3
25	1,3	1,23	1,16	1,08	1,02	1	1,02	1,09	1,19	1,3	1,38	1,36
30	1,34	1,26	1,17	1,07	1,01	0,98	1,01	1,09	1,2	1,34	1,43	1,41
35	1,37	1,28	1,17	1,06	0,98	0,95	0,98	1,07	1,21	1,37	1,47	1,45
40	1,39	1,29	1,16	1,04	0,95	0,92	0,95	1,05	1,21	1,39	1,5	1,48
45	1,4	1,29	1,15	1,01	0,91	0,88	0,92	1,03	1,2	1,39	1,52	1,5
50	1,41	1,28	1,13	0,98	0,87	0,83	0,87	0,99	1,18	1,39	1,54	1,52
55	1,4	1,27	1,1	0,94	0,82	0,78	0,82	0,95	1,15	1,38	1,54	1,52
60	1,39	1,24	1,07	0,89	0,77	0,72	0,77	0,9	1,12	1,36	1,53	1,51
65	1,37	1,21	1,03	0,84	0,71	0,66	0,71	0,85	1,07	1,34	1,51	1,5
70	1,34	1,17	0,98	0,78	0,64	0,59	0,64	0,79	1,02	1,3	1,49	1,47
75	1,3	1,13	0,92	0,72	0,57	0,52	0,57	0,73	0,97	1,25	1,45	1,44
80	1,25	1,08	0,86	0,65	0,5	0,45	0,5	0,66	0,9	1,2	1,41	1,4
85	1,2	1,02	0,8	0,58	0,43	0,37	0,42	0,58	0,84	1,14	1,35	1,35
90	1,14	0,95	0,73	0,5	0,35	0,29	0,34	0,5	0,76	1,07	1,29	1,29

2.3 Teoría de captación

Basaremos nuestro proyecto en los principios de transferencia de calor. Calentaremos el agua aprovechando el fenómeno de radiación, proceso en el cual se transfiere calor a través de ondas electromagnéticas. De los distintos de tipos de radiación, vamos a beneficiarnos de la proporcionada por el sol, la radiación solar. Esta radiación ofrece múltiples aplicaciones, pero nosotros sólo vamos a aprovechar la energía solar térmica.

Los captadores solares son los encargados de transformar esta radiación solar en energía térmica, en calor. Los colectores solares que vamos a utilizar son los captadores de tubo de vacío. Estos colectores evitan las pérdidas de calor casi por completo, siendo notablemente más eficientes que los captadores planos. La instalación contará con un aporte de energía complementario debido a que en días poco despejados el aprovechamiento solar de estos captadores será menor.

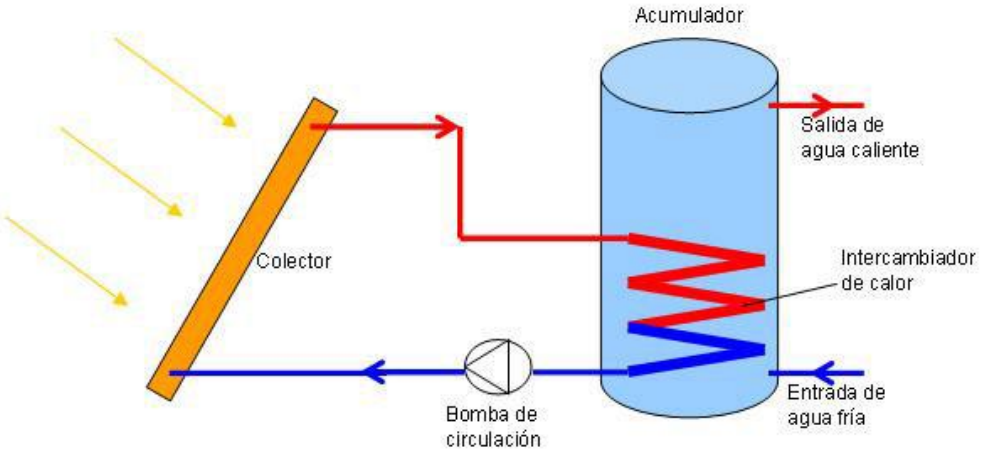


Figura 2 Esquema de funcionamiento instalación ACS solar proporcionado por SUELOSOLAR[1]

2.4 Demanda energética

La empresa *Emov* se encarga de limpiar toda su flota una vez por semana. Nosotros sólo nos vamos a centrar en la instalación del garaje de la calle Dr. Esquerdo, donde cuentan con 250 coches.

La limpieza de estos coches se reparte ordenadamente a lo largo de toda la semana. Esto quiere decir que se limpia una media de 37 coches por día. Cada *Emov* dispone de un número de identificación, pudiendo organizar fácilmente el reparto semanal de limpieza, entre otras muchas cosas.

Como comentamos en la introducción, el consumo de agua por coche es de unos 100L aproximadamente, por lo que el consumo total diario del túnel de lavado resultaría de unos 3700L. La temperatura estipulada para la limpieza de coches está en torno a los 60ºC.

[1] http://suelosolar.com/guiasolares/acs.asp

Tabla 3. Datos relevantes del proyecto

Número de vehículos	37
Consumo por vehículo (l/vehículo)	100
Consumo total (l/día)	3700
Temperatura de uso (ºC)	60

La demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria viene dada por el volumen de consumo diario y las temperaturas de preparación y de agua fría. Nuestra temperatura de preparación será la temperatura demandada (60ºC) menos la temperatura mínima media del agua de la red general. El consumo de agua depende de factores como la radiación.

Tabla 4. Energía anual demandada

Mes	Consumo agua (m^3)	Incremento Ta. (ºC)	Energía Necesaria (Kcal·1000)
Enero	114,7	50,0	5.735
Febrero	103,6	48,8	5.056
Marzo	114,7	47,6	5.460
Abril	111,0	46,4	5.150
Mayo	114,7	45,2	5.184
Junio	111,0	44,0	4.884
Julio	114,7	42,8	4.909
Agosto	114,7	44,0	5.047
Septiembre	111,0	45,2	5.017
Octubre	114,7	46,4	5.322
Noviembre	111,0	47,6	5.284
Diciembre	1114,7	48,8	5.597
Anual	1350,5		62.645

3. Diseño del sistema de captación

3.1 Contribución solar mínima

La contribución solar mínima se define como la fracción entre los valores anuales de la energía aportada exigida y la demanda energética anual[2]. De acuerdo con el CTE-HE 4, la contribución solar mínima para la producción de Agua Caliente Sanitaria depende de la zona climática de la instalación y de la demanda total de éste agua.

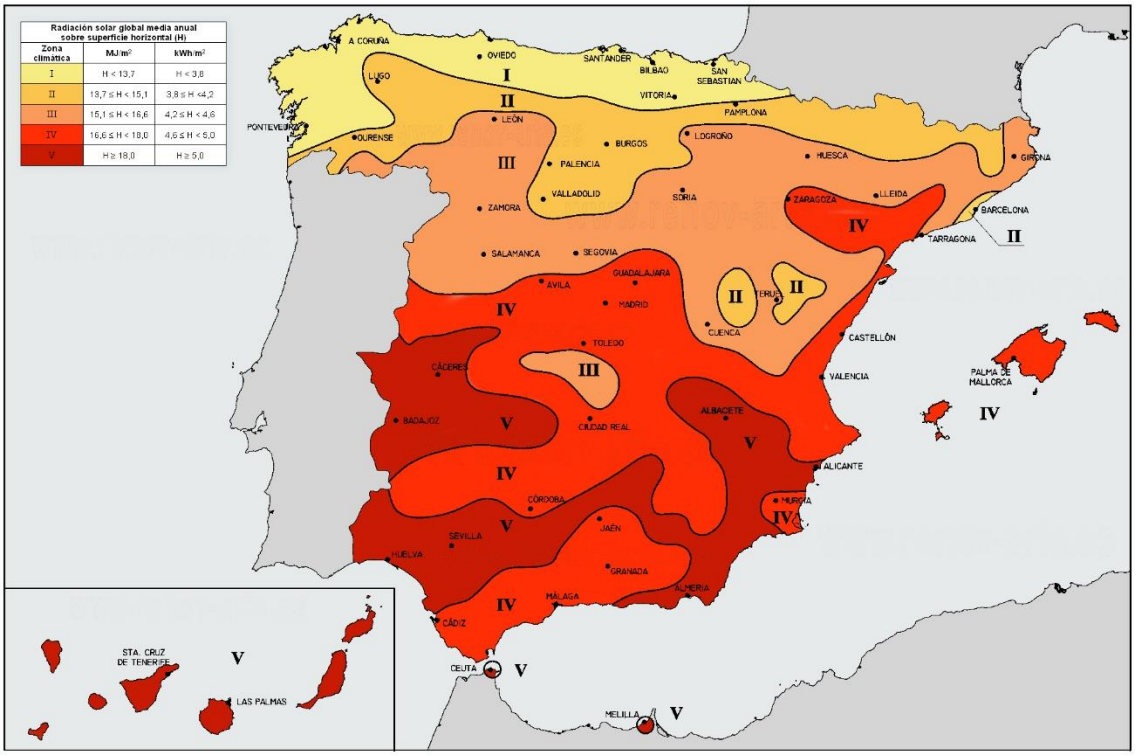


Figura 3. Zonas climáticas de España[3]

Como podemos ver en la *Figura 3*, nuestra zona climática corresponde con la zona IV. Conociendo la demanda total de agua de nuestro proyecto (3700L/día) podremos calcular la contribución mínima solar.

[2] IDAE(Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)
[3] https://www.efimarket.com/blog/radiacion-solar-en-espana/

Tabla 5. Contribución solar mínima en %[4]

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

El proyecto deberá cubrir un mínimo del 60% de la demanda total de Agua Caliente Sanitaria.

3.2 Captadores solares

Como hemos visto anteriormente, los captadores solares van a ser los protagonistas de la teoría de la captación. Nuestros captadores deberán poseer la certificación emitida por un organismo competente en la materia, según la legislación vigente.

De los distintos tipos de colectores solares, nos hemos decantado por los de tubo de vacío, a pesar de que los colectores planos sean los más demandados hoy en día. Los captadores solares de tubo de vacío están formados por hileras de tubos de cristal conectados en paralelo a una tubería de cabecera. En cada uno de estos tubos se ha realizado el vacío a fin de reducir al máximo las pérdidas de calor.

En concreto, emplearemos los calentadores de agua solar de 20 tubos AM TUBOSOL, de Amordad Solar[5].

Figura 4. Captador AM Tubosol

[4] https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/normativa/solar-termica/DB-HE-abril-2009.pdf
[5] http://amordadsolar.com/energia-termica/

Estos paneles resultan óptimos para el aprovechamiento de la energía solar a lo largo de todo el año, ya que, en los meses de verano, tienen un rendimiento normal, parecido al del resto de colectores, mientras que en los meses de invierno su rendimiento está por encima del resto de colectores. Cuentan con un mantenimiento sencillo y tienen una mejor captación en días nublados.

3.3 Cobertura solar

En este apartado calcularemos el número de captadores solares necesarios para aportar la contribución solar mínima obtenida en el apartado 3.1. El número de captadores solares dependerá de sus especificaciones técnicas.

Tabla 6. Especificaciones técnicas AM Tubosol[6]

Superficie de captación total (m2)	2,6
Pérdida	<7%
Longitud (mm)	1800
Anchura (mm)	1196
Altura (mm)	1120
Temperatura mínima de trabajo	-20ºC

Para cubrir un mínimo del 60% de la demanda total de Agua Caliente Sanitaria, introduciremos estos datos, junto con los datos de la ciudad de Madrid, en un Excel[7] proporcionado por el propio IDAE.

Con los datos técnicos de nuestro colector solar y tras haber estudiado la eficiencia de estos, llegamos a la conclusión de que el número óptimo para superar la contribución solar mínima sería 25 captadores solares. Teniendo en cuenta esto, podemos calcular el ahorro energético total que supondrá nuestra instalación.

[6] http://www.renogalia.com/kits-compactos-termosifonicos/652-am-termosol-300-litros-30-tubos.html
[7] "Producción de agua caliente por medio de energía solar" IDAE

Tabla 7. Ahorro anual

Mes	Energía Necesaria (Kcal·1000)	Ahorros (Kcal·1000)	Ahorros (%)
Enero	5.735	2.403	41.9
Febrero	5.056	2.909	57.5
Marzo	5.460	3.778	69.2
Abril	5.150	4.004	77.7
Mayo	5.184	3.924	75.7
Junio	4.884	3.931	80.5
Julio	4.909	4.454	90.7
Agosto	5.047	4.538	89.9
Septiembre	5.017	3.834	76.4
Octubre	5.322	2.753	51.7
Noviembre	5.284	2.608	49.4
Diciembre	5.597	2.585	46.2
Anual	62.645	41.719	66.6

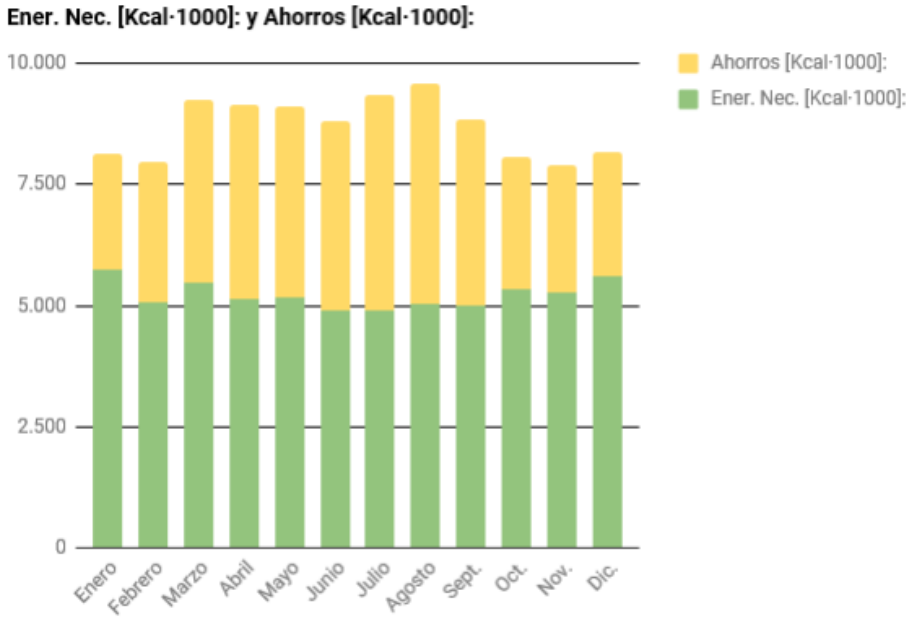


Figura 5. Ahorro energético

Cumplimos con la norma CTE-HE 4 al ahorrar una cantidad superior al 60% de la energía demandada. En la gráfica se puede apreciar el ahorro energético mensual, viendo también la notable diferencia que hay de un mes a otro.

3.4 Orientación e inclinación

Nuestros paneles solares deberán tener una orientación e inclinación cuyas pérdidas sean inferiores a unos determinados valores proporcionados en la *Tabla 6.* Estos límites tienen en cuenta pérdidas causadas por desviaciones respecto la dirección óptima (Sur) e infraestructuras/entorno que pueda generar sombras.

Tabla 8. Límite de pérdidas respecto al óptimo[8]

	Orientación e Inclinación (OI)	Sombras (S)	Total (OI+S)
General (%)	10	10	15
Superposición (%)	20	15	30
Integración arquitectónica (%)	40	20	50

Cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio con el fin de favorecer la autolimpieza de los captadores se considera un ambiente de superposición, por lo que necesitaremos unas pérdidas respecto al óptimos inferiores al 30%.

Estas pérdidas se calcularán en función de los siguientes parámetros[9]:

a) Ángulo de inclinación β, ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal. El β_{opt} es la propia latitud de la zona, considerando un consumo constante anual.

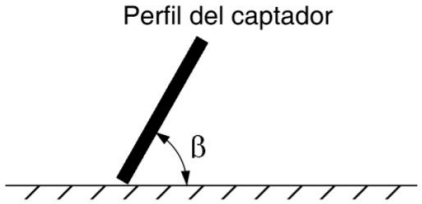


Figura 6. Disposición captador ángulo β

[8] Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura
[9] Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura (Anexo V)

b) Ángulo de acimut α, ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar.

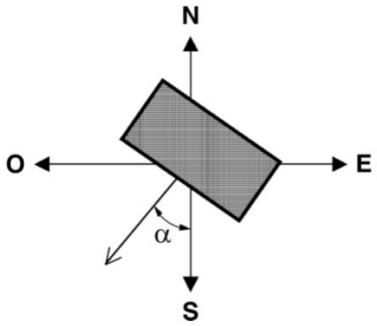


Figura 7. Disposición captador ángulo α

Habiendo determinado el ángulo de azimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo con las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para esto usaremos la *Figura 6*, válida para una latitud de 41º, de la siguiente forma:

- Conocido el azimut, determinamos en la *Figura 6* los límites para la inclinación en el caso de latitud 41º. En nuestro caso (Superposición), las pérdidas máximas por este concepto son del 20%.
- Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los limites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores de inclinación máxima y mínima.
- Estos límites tendrán que ser corregidos en función de la diferencia ente la latitud del lugar en cuestión y la de 41º:

Inclinación máxima: inclinación (41º) – (41º - latitud)

Inclinación mínima: inclinación (41º) – (41º - latitud)

El ángulo de azimut que tomaremos será el óptimo: 0º, pues, como hemos dicho antes, la dirección Sur es la óptima de trabajo. El límite de pérdidas será del 20%, por lo que estaremos en la franja del 80% – 90%.

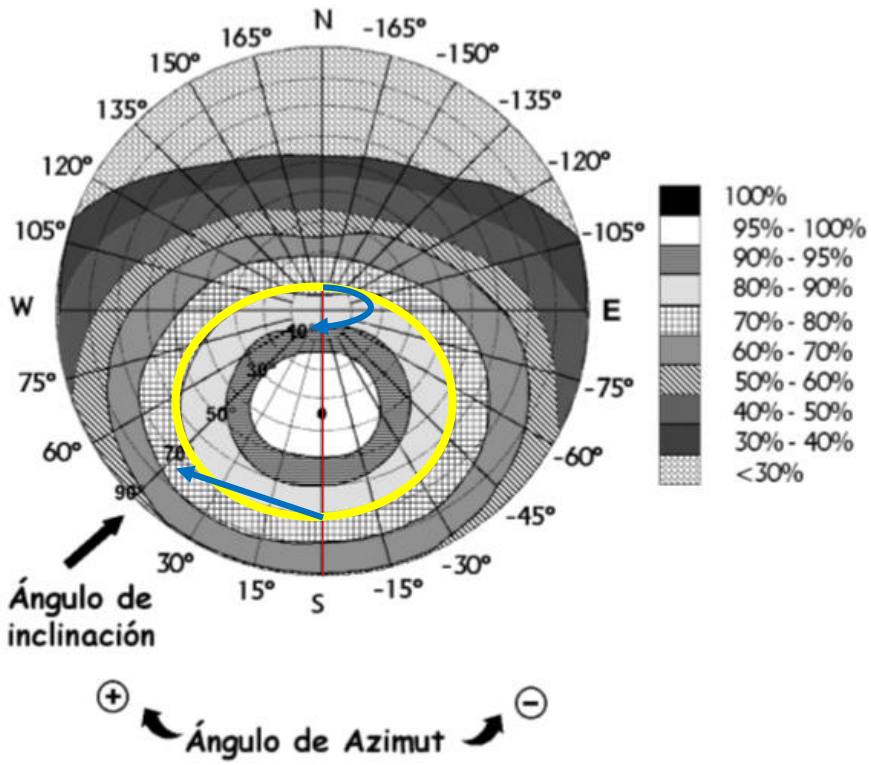


Figura 8. Pérdidas respecto a inclinación óptima para latitud de 41º

Inclinación mínima: 10º

Inclinación máxima: 70º

Estos valores tenemos que corregirlos, pues nuestra latitud es 40,4º

Inclinación mínima corregida: 10 – (41 – 40,4) = 9,4º

Inclinación máxima corregida: 70 – (41 – 40,4) = 69,4º

Para obtener unas pérdidas nulas, deberíamos tener la inclinación óptima: β_{opt} = 40,4º, dentro de nuestro rango.

3.5 Conexionado

Los colectores se dispondrán en filas constituidas por el mismo número de elementos. Estas filas de colectores se pueden conectar entre sí en paralelo, 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, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

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

$$50 < V/A < 180$$

donde,

- A: suma de las áreas de los captadores [m^2]
- V: volumen de la acumulación solar [litros]

En nuestro caso V/A = 56,81 L/m^2, estando dentro del rango establecido.

En el apartado *3.3* hemos obtenido un resultado de 25 captadores para conseguir la contribución solar mínima requerida. La disposición de este número de captadores será la siguiente: 5 filas de 5 captadores, conectados en paralelo.

3.6 Distancia mínima entre filas de captadores

La distancia *d*, medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura *h*, que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno, de acuerdo con el *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red*[10]. Esta distancia *d* será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = h / tg(61^o - latitud)$$

Siendo nuestra $h = L \cdot sen(\beta) = 1,8 \cdot sen(40,4) = 1,16$ m

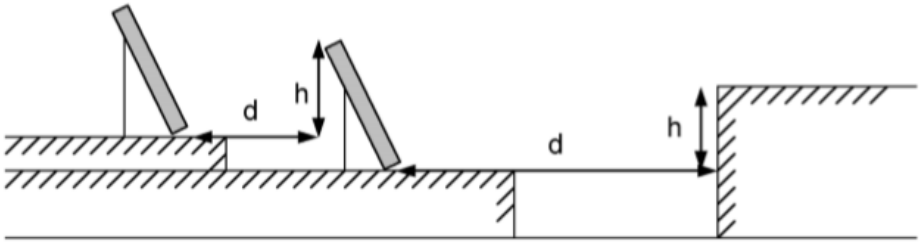


Figura 9. Distancia d y altura h según inclinación

[10] documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Instalaciones_Red_09_a3c5aa42.pdf

En nuestro caso no existirá escalonamiento entre fila y fila. La variable h será la altura vertical del colector inclinado. Despreciaremos la altura *h* de cualquier muro/obstáculo que haya en la azotea del edificio y que pueda generar sombra sobre la primera fila de captadores. Conociendo *h* podemos sacar el valor de *d*:

$$d = 1{,}16 / tg(61^{o} - 40{,}4^{o}) = 3{,}08 \approx 3{,}1 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta el amplio espacio que hay en la azotea del edificio en el que vamos a implementar nuestra instalación, podremos mantener una distancia d = 4 m para evitar cualquier tipo de imprevisto.

4. Diseño del circuito hidráulico

En este apartado vamos a dimensionar los circuitos hidráulicos de nuestra instalación. En el siguiente esquema[11] podemos ver los dos circuitos con los que contaremos.

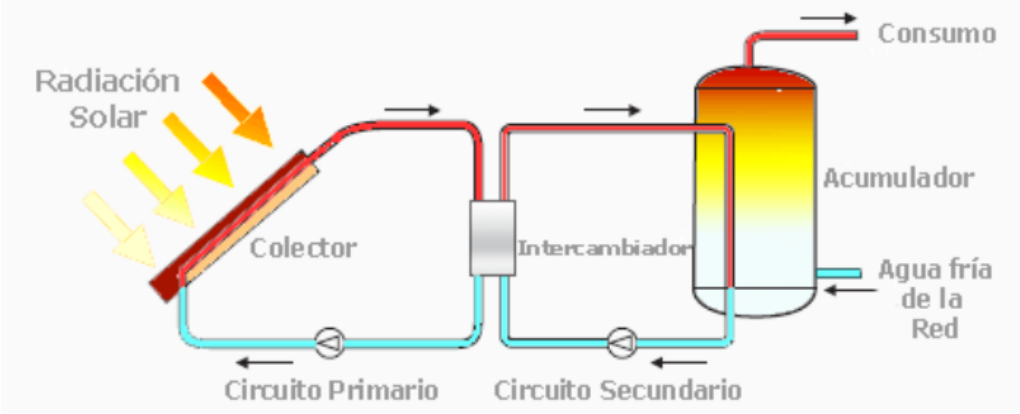


Figura 10. Esquema instalación ACS

- Circuito primario: Circuito por el que se transportará el fluido que se calentará por la energía captada por los paneles solares. Este fluido será agua mezclada con algún anticongelante, pues las temperaturas en los meses de invierno de Madrid pueden helar este agua. El anticongelante más empleado es el concentrado con propilenglicol, por su baja toxicidad y por ser biodegradable.

Tabla 9. Propilenglicol a diferentes concentraciones[12]

% Propilenglicol	Hasta ºC
0%	0
10%	-3
20%	-8
30%	-14
40%	-22
50%	-34
60%	-48
100%	-59

Escogeremos un porcentaje de propilenglicol del 20%, pues una temperatura de -8ºC es un caso bastante extremo para la ciudad de Madrid.

[11] Instalación ACS (http://inproyect.es/agua-caliente-solar-acs/)
[12] Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura

- Circuito secundario: A través de un intercambiador de calor, el circuito primario calentará el agua que fluirá por este circuito secundario, acabando este agua yendo a consumo (ACS).

4.1 Circuito hidráulico primario

4.1.1 Tuberías

Para el diseño de las tuberías tendremos que basarnos en la normativa HE4 del CTE: longitud tan corta como sea posible y trataremos de evitar codos y pérdidas de carga. Los tramos horizontales tendrán una pendiente mínima del 1% en el sentido de circulación.

Podremos utilizar como materiales el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas. Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y uniones por capilaridad (UNE 37153[13]).

Considerando nuestro presupuesto económico y debido a las buenas condiciones del material, usaremos el cobre para las tuberías de nuestra instalación. Más concretamente, usaremos el cobre C-1130, que cumple con los requisitos dichos anteriormente.

Para el dimensionado de estas tuberías, debemos estudiar el caudal total de circulación mediante la siguiente ecuación:

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Siendo:

- Q: caudal (m^3/s)
- v: velocidad del fluido (m/s)
- D: diámetro tubería (m)

El caudal será el recomendado por la empresa Amordad Solar: 10 – 30 l/m^2h. Para la velocidad del fluido, nos vamos a basar en la sección HS4 del CTE, donde establece velocidades según los tipos de tubería:

- Tuberías metálicas: 0,5 – 2 m/s
- Tuberías termoplásticas y multicapas: 0,5 – 3,5 m/s

Todos nuestros tramos de tuberías serán del mismo cobre, por lo que seleccionamos una velocidad de fluido de 1 m/s. Conociendo este valor, suponiendo un caudal de 20

[13] AENOR

l/m^{2}h, y sabiendo que tenemos N=5 colectores por fila, podemos sacar el valor del diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot N}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}6 \cdot 5}{3600 \cdot 1 \cdot \pi}} = 9{,}58\, mm$$

Este diámetro tendremos que corregirlo según la tabla de tuberías normalizadas de la UNE-EN 1057.

Tabla 10. Diámetros y pared de tubos de cobre según UNE - EN 1057

Espesor Pared [mm]	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,5	2	2,5	3
Diámetro Exterior [mm]	Diámetro interior [mm]											
6		4,8		4,4		4						
8		6,8		6,4		6						
10		8,8	8,6	8,4		8						
12		10,8	10,6	10,4		10						
14				12,4		12						
15						13						
16						14						
18						16						
22					20,2	20	19,8	19,6	19			
28					26,2	26		25,6	25			
35						33		32,6	32			
40						38						
42						40		39,6	39			
54						52		51,6	51	50		
64										60		
66,7								64,3		62,7		
76,1									73,1	72,1		
88,9										84,9		
108									106		103	

Seleccionamos el tubo con un diámetro exterior de 12mm y un espesor de pared nominal de 1mm, resultando un diámetro interior de 10mm. Este diámetro es ligeramente superior al calculado, por lo que tendremos que calcular de nuevo su velocidad.

$$v = \frac{4 \cdot Q \cdot N}{\pi \cdot D^2} = 0{,}91\ m/s$$

Tras conocer el diámetro de la fila de colectores, calculamos el diámetro principal, en el que se unen todas las filas. El diámetro cambia en este tramo, pues el caudal total transportado es el de 25 captadores solares. Para calcular el diámetro de este nuevo tramo, seguimos el mismo procedimiento de antes, siendo:

Teniendo N=25 colectores:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot 25}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}6 \cdot 25}{3600 \cdot 1 \cdot \pi}} = 21{,}4\ mm$$

Corregimos este valor y obtenemos un diámetro interior de 26mm, con un espesor de 1mm. Calculamos la velocidad con este nuevo valor:

$$v = \frac{4 \cdot Q \cdot N}{\pi \cdot D^2} = 2{,}13\ m/s$$

La velocidad obtenida es superior al límite establecido por la CTE, por lo que vamos a aumentar el diámetro interior a 31mm. La nueva velocidad es:

$$v = 1{,}5\ m/s$$

4.1.2 Intercambiador de calor

La transferencia de calor del circuito primario al circuito secundario se produce gracias al intercambiador de calor. Utilizaremos un intercambiador de contacto indirecto, en el que no se produzca mezclado entre los fluidos de ambos circuitos.

Usaremos un intercambiador de placas, son aquellos en los que la superficie de separación entre los fluidos es una pared plana. Son relativamente recientes, pero sus ventajas respecto de los clásicos multitubulares están desplazando a estos en la mayoría de las aplicaciones. El material recomendado por el CTE para instalaciones de agua sanitaria es el acero inoxidable o el cobre. En nuestro caso, nos hemos decantado por el acero inoxidable.

Según la sección HE-4 del CTE, la potencia mínima de diseño del intercambiador cumplirá la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Siendo:

- P = Potencia mínima intercambiador (W)
- A = Área de captadores (m2)

Resultando:

$$P \geq 500 \cdot 2{,}6 \cdot 25 = 32{,}5\ KW$$

Elegimos un intercambiador de marca SUICALSA[14], en concreto el modelo IPT 600. Se trata de un intercambiador de calor con 34 placas y una potencia de 40 KW. Es el modelo que mejor se amolda a nuestras necesidad, aportándonos los valores necesarios para nuestro proyecto.

[14] http://www.suicalsa.com/

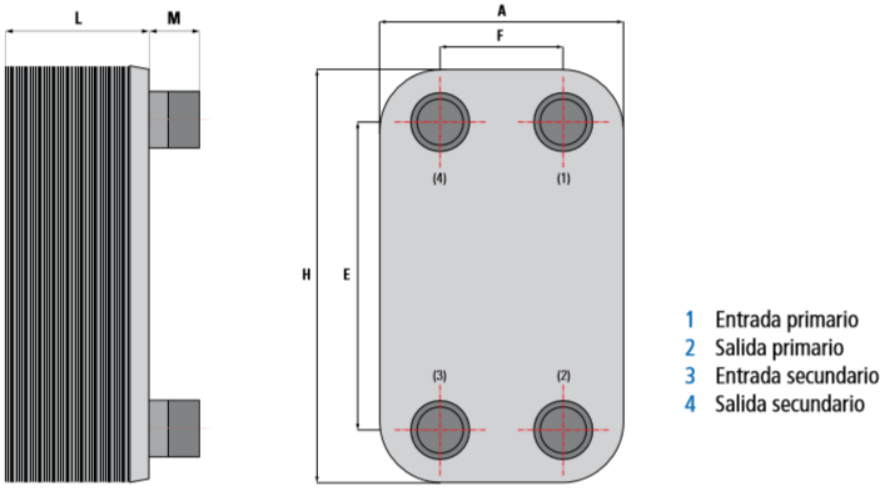


Figura 11. Dimensiones IPT 600

Tabla 11. Ficha técnica IPC 600

DATOS DE FUNCIONAMIENTO Producción ACS y calentamiento por panel solar

Nº placas	Código	Potencia (kw)	Caudal (litros / hora)		Pérdida carga (mca)		Peso (Kg.)
			Primario	Secundario	Primario	Secundario	
14	IPT06011430	5	450	135	0,29	0,04	1,5
24	IPT06012430	10	900	270	0,45	0,05	2
46	IPT06014630	20	1.800	540	0,86	0,08	3,1
26	IPT06022630	30	2.700	810	2,81	0,31	5,3
34	IPT06023430	40	3.600	1.080	2,99	0,32	6,4

4.1.3 Bombas

Las bombas constituyen un elemento fundamental en cualquier instalación que necesite la fluidez de cualquier tipo de fluido. Gracias a estos componentes podemos instalar el depósito donde a nosotros nos convenga, y no junto a los colectores solares. Existen distintos tipos de bombas, las recomendadas por el CTE para circuitos de ACS son bombas de tipo circuladores en línea, con materiales resistentes a la corrosión.

Para el cálculo de la bomba vamos a calcular las pérdidas asociadas a nuestra instalación. Estas pérdidas son provocadas en los colectores, en las tuberías y el intercambiador de calor.

$$h_{Tot} = h_c + h_t + h_i$$

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

- Pérdidas de carga en los colectores:

El fabricante de nuestros colectores no proporciona datos de pérdidas de carga generadas. Realizando un estudio de los distintos colectores de tubo de vacío de tamaño similar a los nuestros, hemos llegado a un resultado de 5 mbar/m^2. Por lo que resulta una pérdida por captador de:

$$h_c = 5 \cdot 2{,}6 \cdot 10{,}2 = 132{,}6\ mmca$$

(1 bar = 10,2 mmca)

- Pérdidas de carga en las tuberías:

En las tuberías utilizaremos la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Siendo:
h: pérdidas de carga [m]
f: coeficiente de fricción [adimensional]
L: longitud tubería [m]
D: diámetro tubería [m]
v: velocidad del fluido [m/s]
g: gravedad [m/s^2]

Lo primero de todo es hallar el valor del coeficiente de fricción. Para esto, usaremos la ecuación de Blasius:

$$f = 0{,}3164 \cdot Re^{-1/4}$$

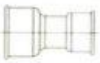
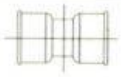
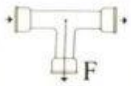
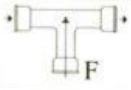
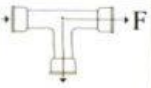
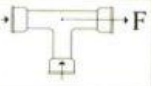
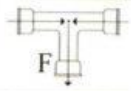
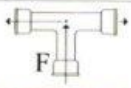
Siendo:
Re: número de Reynolds [adimensional]. El número de Reynolds, a su vez, depende de otros factores como:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

Siendo:
ρ: densidad del fluido [kg/m^3]
μ: viscosidad del agua [$N \cdot s/m^2$]

Todos estos factores se tendrán que estudiar en cada parte de las tuberías. Teniendo en cuenta que se producen diversas pérdidas de cargas por cambios de dirección, derivaciones o componentes hidráulicos en cada tramo, deduciremos una longitud equivalente que produciría las mismas pérdidas que dicho tramo. Esta longitud equivalente podemos sacarla de la siguiente tabla:

Tabla 12. Longitud equivalente para pérdida de carga

ACCESORIOS		Ø / Coef. de pérdidas de cargas secunda.	Longitud equivalente						
			15	20	25	30	40	50	60
		k							
			m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Codo a 90°		0.7	0.328	0.51	0.721	0.897	1.217	1.444	1.898
Codo a 45°		0.5	0.234	0.364	0.515	0.64	0.869	1.032	1.356
Codo radio corto 90°		1.5	0.703	1.093	1.545	1.921	2.608	3.095	4.068
Reducción		0.2	0.094	0.146	0.206	0.256	0.348	0.413	0.542
Unión		0.1	0.047	0.073	0.103	0.128	0.174	0.206	0.271
Tee con salida primaria por el ramal, y flujo unidireccional en eje principal		1.3	0.609	0.947	1.339	1.665	2.26	2.682	3.526
Tee con ingreso primario desde ramal, y flujo unidereccional en eje principal.		0.9	0.421	0.655	0.926	1.152	1.564	1.867	2.44
Tee con salida primaria en el eje principal, y por el ramal sale alguna línea		0.3	0.141	0.219	0.309	0.384	0.522	0.619	0.814
Tee con salida primaria en eje principal, y por el ramal ingresa alguna línea.		0.2	0.094	0.146	0.206	0.256	0.348	0.413	0.542
Tee con salida primaria por el ramal, y contraflujo hacia el interior en el eje principal		1.5	0.703	1.093	1.545	1.921	2.608	3.095	4.068
Tee con ingreso primario por el ramal, y contraflujo hacia el exterior en eje principa		3	1.405	2.186	3.09	3.843	5.216	6.19	8.136

- Ramal colectores:

2 codos de 90º: 0,328m
2 tees con ingreso primario desde ramal y flujo unidireccional en eje principal: 0,421m
$L_{eqiv.total}$ = (1,196 x 10 + 3 + 2 + 1 + 2 x 0,328 + 2 x 0,421) x 5 = 97,29m

- Tubería principal:

5 tees con salida primaria en eje principal y por ramal ingresa alguna línea: 0,094m
$L_{eqiv.total}$ = (0,875 x 2 + 8 + 3 + 5 x 0,094) x 2 = 26,44m

Realizando estos cálculos resulta una L_{eq} = 123,73m. Conociendo esta longitud equivalente, calcularemos las pérdidas utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach. Para esto, hallaremos primero el coeficiente de fricción *f* y con esto las pérdidas *h*.

Re = 77021,45 → f = 0,00245 → **h = 1139mmca**

- <u>Pérdidas de carga en el intercambiador de calor:</u>

Vienen dadas directamente por el fabricante. En la *Tabla 9* podemos ver:

h_{int1} = **2990mmca** para el circuito primario
h_{int2} = 320mmca para el circuito secundario

- <u>Pérdidas de carga en los colectores solares:</u>

El fabricante de nuestros colectores no proporciona pérdidas. Hemos realizado un estudio de las pérdidas medias en colectores similares y ha resultado un valor de **200mmca**.

Obtenemos unas pérdidas de carga totales $\mathbf{h_{tot}}$ **= 4329mmca**.

Una vez tenemos las pérdidas totales, seleccionaremos una bomba que permita compensar estas pérdidas. Nuestra bomba deberá de cumplir una serie de normas impuestas por el CTE:

1. La caída de presión se deberá de mantener aceptablemente baja en todo el circuito.
2. Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.
3. En instalaciones con superficies de captación superiores a 50m^2 (nuestra instalación: 2,6 x 25 = 65m^2) se deberán montar dos bombas en paralelo, dejando una de reserva.

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

Seleccionamos la bomba circuladora ALPHA2 25-50 130, de la empresa Grundfos[15]. Esta bomba es capaz de contrarrestar las pérdidas de carga totales de nuestro circuito, consiguiendo aportar el caudal necesario, como se muestra en la *Figura 13*.

Figura 12. Bomba Alpha2

[15] https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?qcid=375729821

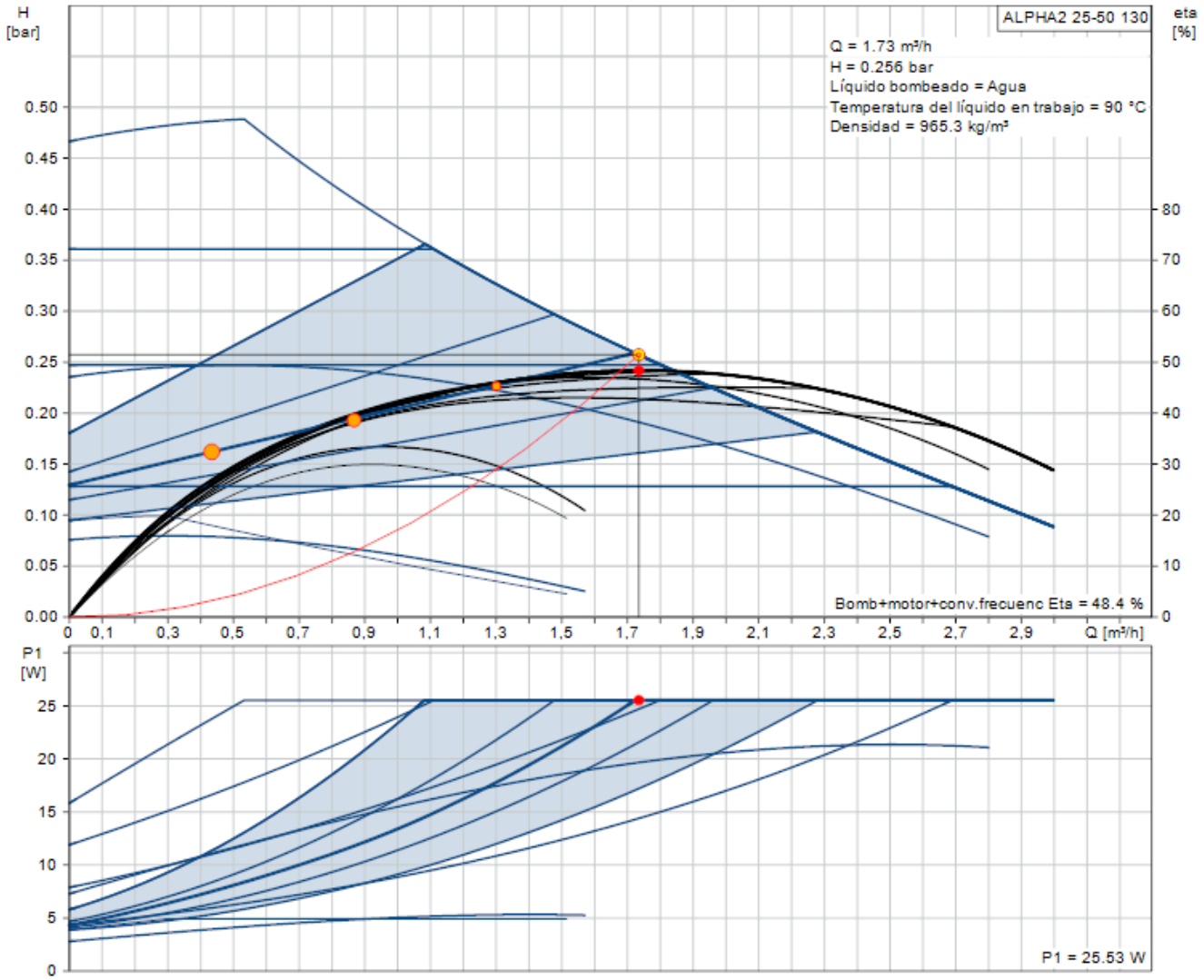


Figura 13. Curva funcionamiento Bomba ALPHA2 25-50 130 - 97993196

4.2 Circuito hidráulico secundario

4.1.4 Tuberías

El material de las tuberías del circuito secundario será el mismo que el del circuito primario, cobre C-1130.

Las dimensiones serán las siguientes: 52mm de diámetro exterior y 50mm de diámetro interior. La distancia hasta el depósito será de 3m.

4.1.5 Bombas

Para seleccionar la bomba realizaremos el mismo procedimiento de antes. Esta vez, sólo tendremos pérdidas en la tubería y en el intercambiador de calor.

- Pérdidas de carga en el intercambiador de calor:

Igual que antes, vienen dadas directamente por el fabricante. En la *Tabla 9* podemos ver:

h_{int1} = 2990mmca para el circuito primario
h_{int2} = **320mmca** para el circuito secundario

- Pérdidas de carga en las tuberías:

Estas pérdidas las calcularemos como las pérdidas del circuito primario, con la ecuación de Darcy-Weisbach. Primero hallaremos la longitud equivalente:

2 codos de 90º: 0,328m
$L_{eqiv.total}$ = 2 x 0,328 + 5 = 5,656m

Re = 89556,45 → f = 0,00566 → **h = 264mmca**

Resultando unas pérdidas de carga totales en el circuito secundario de $\mathbf{h_{tot}}$ **= 584mmca.**

Esta vez, la bomba seleccionada es la ALPHA2 25-40 130, de la misma empresa, Grundfos. Es la bomba que mejor se amolda a las circunstancias de nuestra instalación, como podemos ver en las gráficas siguientes.

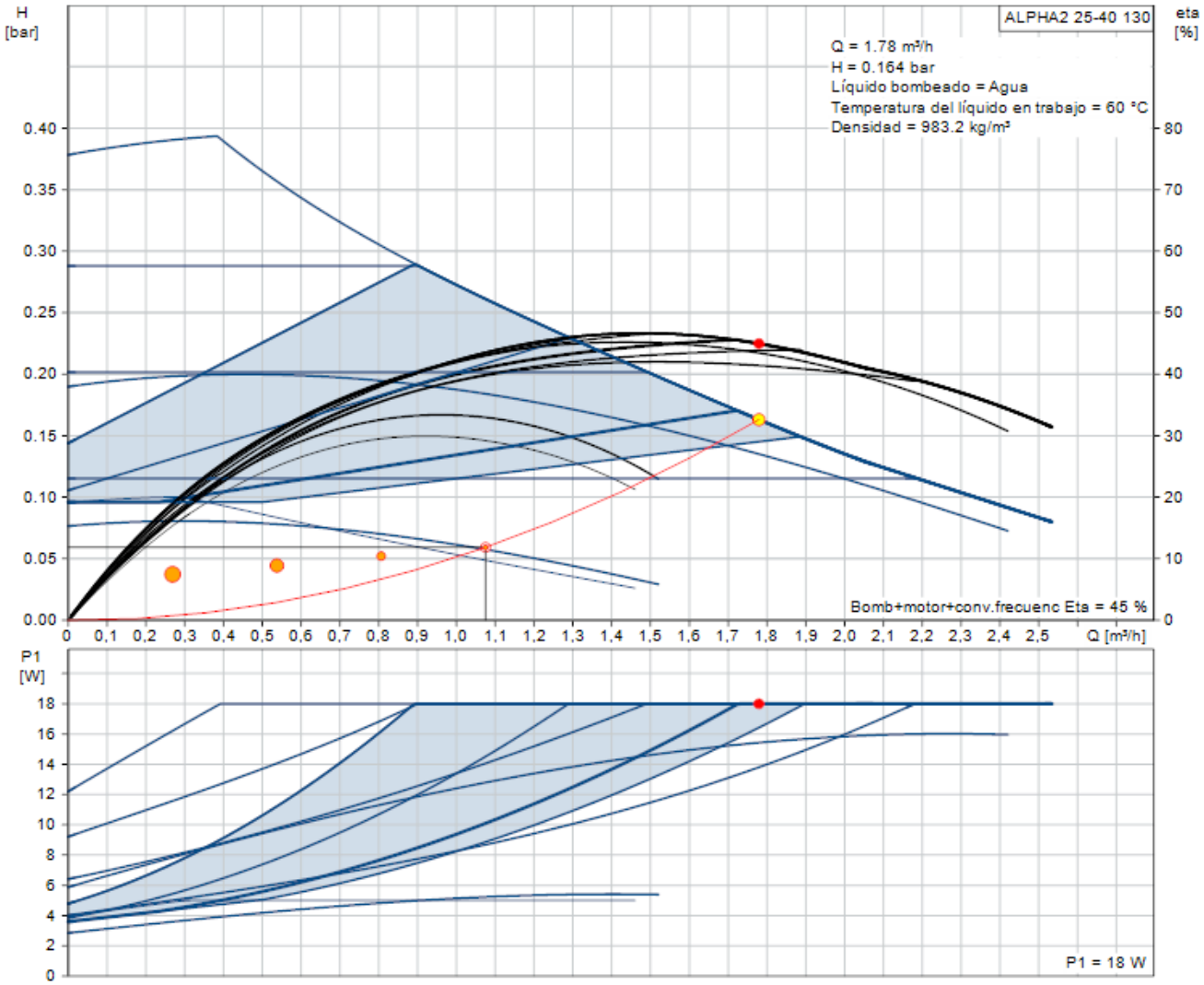


Figura 14. Curva Bomba ALPHA2 25-40 130

5. Otros componentes

En este apartado expondremos los distintos componentes comunes para ambos circuitos de nuestra instalación.

5.1 Válvulas

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura). Nuestra instalación constará de las siguientes válvulas:

- Una válvula de llenado a la entrada del depósito: Válvula de esfera
- Una válvula de vaciado a la salida del depósito: Válvula de esfera
- Dos válvulas de seguridad, una junto al depósito y otra junto al intercambiador de calor: válvulas de resorte
- Tres válvulas de retención (anti-retorno), dos para el circuito primario y otra para el circuito secundario

5.2 Acumulador

El depósito acumulador es un elemento imprescindible de la instalación, pues permite almacenar la energía producida (agua caliente) para así gestionarla de la manera más eficiente.

Nuestra instalación consumirá un total de 3700L diarios, por lo que necesitaremos un acumulador lo suficientemente grande como para poder almacenar esta cantidad, contando con un margen de seguridad.

Seleccionamos el acumulador Corprimo Corflex Primaire de 4000L, de Ygnis[16]. Este depósito cumple con todos los requisitos establecidos por el *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*[17].

[16] http://www.ygnis.es/Productos/Acumuladores-y-ACS/Corprimo-de-500-a-5.000-litros
[17] file:///C:/Users/Pedro/Desktop/TFG/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_a3c5aa42.pdf

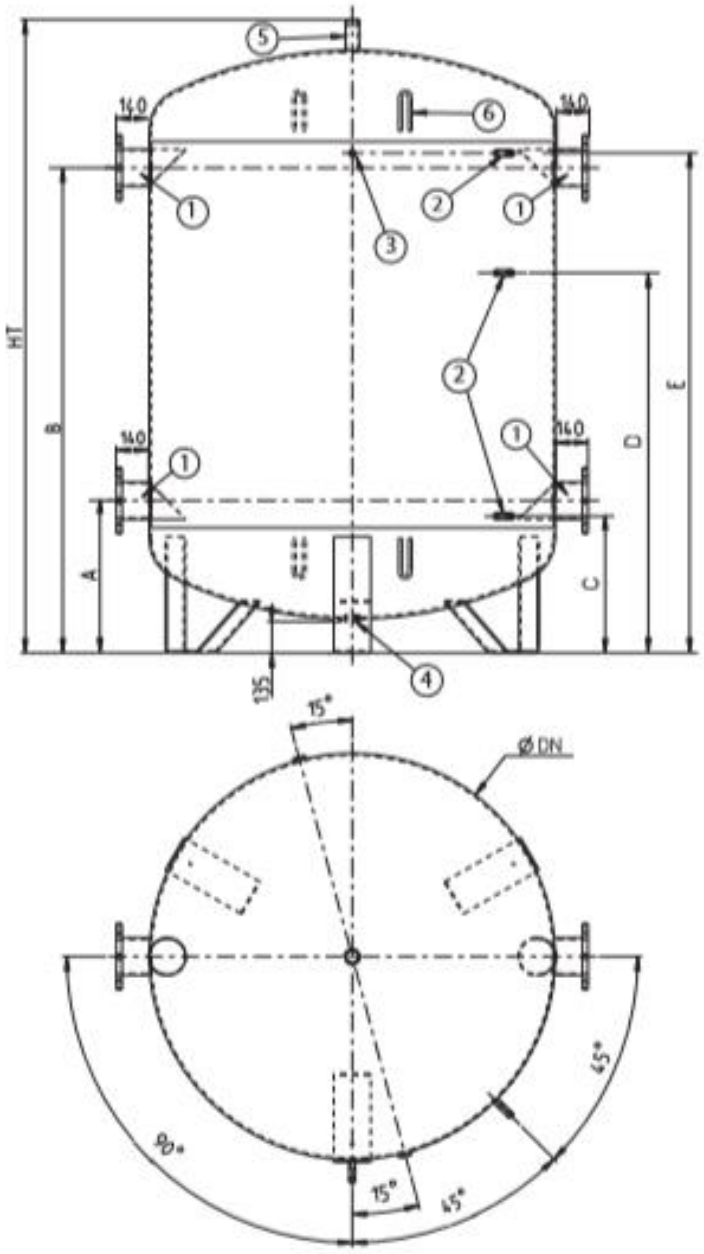


Figura 15. Depósito acumulador Corprimo 4000-SM1

Se trata de un acumulador con un aislamiento térmico basando en una carcasa flexible aislante con un panel de lana de vidrio de 100mm de grosor y con revestimiento de PVC, una temperatura máxima de 95ºC y una presión máxima de trabajo de 10 bares. Todas estas características son perfectas para nuestras condiciones de diseño.

5.3 Vasos de expansión

Un vaso de expansión es un elemento de seguridad de cualquier instalación conectada a un circuito cerrado con un fluido caloportador en su interior. La función principal de un vaso de expansión en instalaciones de ACS es absorber el aumento de presión del agua que hay en el interior de los circuitos cuando aumenta la temperatura del agua, pues esta varia de densidad y de volumen con la temperatura.

En nuestra instalación dispondremos de dos vasos de expansión, uno en el circuito primario, antes del intercambiador de calor, cuando el fluido está a temperaturas altas debido a la energía captada por los colectores, y otro en el circuito secundario, en el depósito acumulador.

Para calcular el volumen del vaso de expansión vamos a necesitar conocer los siguientes datos:

V: volumen total de fluido en el circuito

Ce: coeficiente de dilatación del fluido

Cp: coeficiente de presión del gas

El RITE[18] nos proporciona las siguientes fórmulas para los dos coeficientes:

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

Siendo T la temperatura media de trabajo.

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

Siendo P_M la presión máxima y P_m la presión mínima.

[18] http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-edificios

5.3.1 Vaso de expansión circuito primario

Para determinar el tipo de vaso de expansión, tenemos que calcular el volumen del fluido total que circula por este circuito: el que fluye por los captadores y las tuberías.

- Volumen de los captadores: Nos lo da el propio fabricante.

$$V_{colector} = 2{,}4L$$
$$V_{total} = 2{,}4 \text{ x } 25 = 60L$$

- Volumen de las tuberías: Aquí hay que tener en cuenta los dos tramos, el tramo de tubería de la fila de captadores, y el tramo de tubería principal. Teniendo una longitud de 115m de tuberías, el volumen será el siguiente:

$$V = A \cdot L = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L = \pi \cdot \frac{0{,}026^2}{4} \cdot 115 = 0{,}061m^3 = 61L$$

Una vez tenemos el volumen total V_T = 121L, calculamos los coeficientes. El coeficiente de dilatación Ce depende de la temperatura media de trabajo. Esta temperatura media será la media entre la temperatura de ida(≈60ºC) y la temperatura de retorno (≈90ºC)

$$Tmed = \frac{Tida + Tret}{2} = 75ºC$$

Resultando Ce = 0,024

El coeficiente de presión del gas Cp depende de las presiones máximas (P_M = 9bar) y las presiones mínimas (P_m = 5bar). Con estos datos obtenemos un Cp = 2,25.

$$V_{vaso} = V_T \text{ x } Ce \text{ x } Cp = 6{,}5L$$

Escogemos el vaso de expansión D 8 CE de la empresa ELBI[19], cuyas características se muestran a continuación.

Tabla 13. Ficha técnica D-CE 150

CÓDIGO	MODELO	CAPACIDAD Litros	De mm	H mm	CONEXIÓN	DTO
67.61011	D 8 CE	8	204	300	3/4"	07

Presión máxima de ejercicio: 10 bar
Temperatura máxima de funcionamiento: 99ºC
Presión de precarga: 3 bar

[19] https://www.vascocatalana.com/Catalogos/Productos/?CAId=16635656

5.3.2 Vaso de expansión circuito secundario

Realizaremos la misma operación del apartado anterior, solo que en lugar de tener en cuenta el volumen de los captadores, tendremos en cuenta el del depósito.

- Volumen del depósito: 4000L
- Volumen de las tuberías: Este tramo de tuberías es de 25m, por lo que el volumen será V = 13,3L.

Teniendo un V_T = 4013,3L, calculamos el volumen de vaso de expansión necesario para el circuito secundario según las fórmulas de Ce y Cp.

Ce(T=40ºC) = 0,00656

Cp = 1,125

V_{vaso} = 29,61L

Escogemos el vaso de expansión D 35 CE de ELBI, la misma empresa que el vaso de expansión seleccionado para el circuito primario.

Tabla 14. Ficha técnica D-CE 35

CÓDIGO	MODELO	CAPACIDAD Litros	De mm	H mm	CONEXIÓN	DTO
67.61015	D 35 CE	35	400	390	1"	07

5.4 Purgadores de aire

Debido a los cambios de temperatura y presión que se producen en el fluido del circuito, el oxígeno disuelto en el agua se ve liberado formando bolsas de aire. Estas bolsas de aire ocasionan problemas como pérdidas de la eficiencia del sistema y cavitación en tramos de tuberías.

Para la eliminación de estas bolsas de aire se instalan los purgadores. En nuestro caso, nos hemos decantado por un purgador automático para instalaciones solares de CALEFFI SOLAR[20]. Este elemento se instalará en la zona más elevada del circuito, donde se vayan a encontrar estas bolsas de aire.

Figura 16. Purgador de aire automático Caleffi SOLAR

5.5 Sistema eléctrico y sistema de monitorización

El sistema eléctrico y de control cumplirá con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT[21]):

- Rango de temperatura ambiente de funcionamiento del sistema de control estará entre -10ºC y 50ºC.
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de la alimentación del sistema del funcionamiento de bombas.

[20] https://www.caleffi.com/international/en-int/catalogue/solar-2
[21] http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx

- El tiempo mínimo entre fallos especificados por el fabricante del sistema de control diferencial no será inferior a 7000h.

Utilizaremos un regulador de la marca WOLF[22], en concreto la unidad de mando BM Solar. Este sistema de regulación mide las temperaturas registradas por los sensores PT1000 de los colectores y del acumulador y activa las bombas de recirculación en función de las temperaturas.

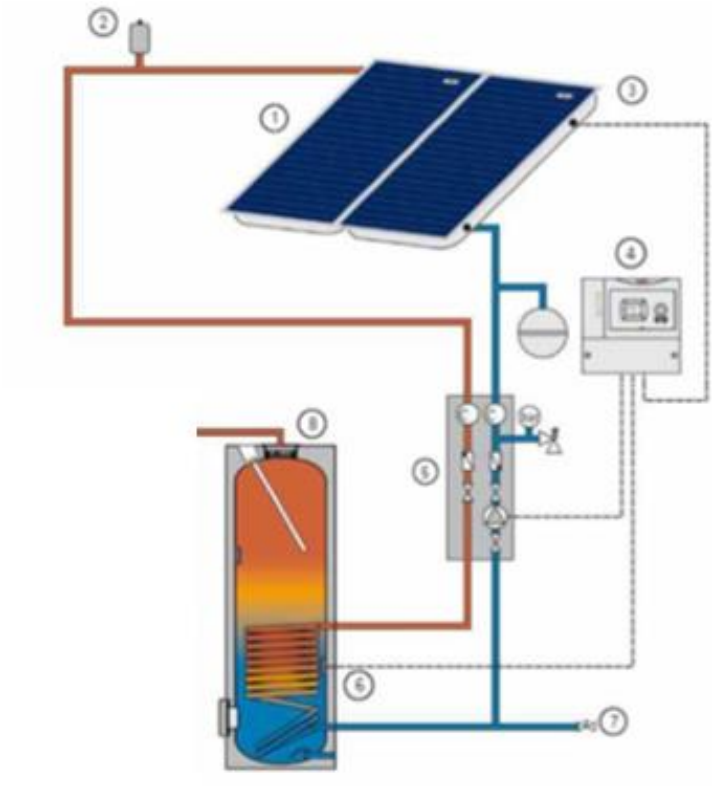


Figura 17. Esquema instalación BM Solar según CTE

[22] https://spain.wolf.eu/productos/regulacion/modulo-de-mando-bm-1/

5.6 Aislamiento

Los espesores de aislamiento (expresados en mm) de tuberías y accesorios situados al exterior no serán inferiores a los valores de la *Tabla 15* proporcionada por el Anexo VII.9 del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.

Tabla 15. Aislamientos mínimos según diámetros

Fluido interior caliente			
Diámetro exterior (mm) (*)	Temperatura del fluido (°C) (**)		
	40 a 60	61 a 100	101 a 180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

(*) Diámetro exterior de la tubería sin aislar.

(**) Se escoge la temperatura máxima de red.

Siendo nuestros diámetros de 12mm en los ramales de colectores y de 26mm en la tubería principal, utilizaremos un aislante térmico no inferior a 25mm en toda la instalación.

Un aislante de coquilla de polietileno de la marca FORCH[23] será suficiente para cumplir con la normativa. Esta marca ofrece diversos tipos de aislantes térmicos. La coquilla que mejor se amolda a las necesidades de nuestra instalación es la coquilla aislante de PE flexible para tuberías.

[23] https://www.foerch.es/instalaciones-en-viviendas-y-edificios/foerch-forlen-aislamiento-de-tuberias/coquillas-aislantes-flexibles/coquillas-aislantes-de-pe-flexible-para-tuberias

6. Datos económicos del proyecto

6.2 Presupuesto económico

Concepto	Producto	Unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Material Solar	Colector AM Tubosol	25	524,30	13107,50
TOTAL				**13107,50**

Concepto	Producto	Unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Material Hidráulico	Depósito	1	4875	4875
	Vaso de expansión D8CE - ELBI	1	35,27	35,27
	Vaso de expansión D35E - ELBI	1	54,44	54,44
	Bomba circulación ALPHA2 25-50 130	1	437	437
	Bomba circulación ALPHA2 25-40 130	1	397	397
	Válvula de esfera PN40	2	8,37	16,74
	Válvula de resorte TERMO W-3635	2	6,20	12,40
	Válvula antirretorno RS PRO roscado	3	10,88	32,64
	Manómetro analógico WIKA	2	9,82	19,64
	Purgador de aire Caleffi SOLAR	1	32,12	32,12
	Anticongelante 20% propilenglicol VADEQUÍMICA 25L	1	130	130
	Tubería de cobre 12/10 1m	65	3,05	198,25
	Tubería de cobra 26/24 1m	15	3,67	55,05
	Material conexionado (Codos, uniones T, etc…)		50	50
TOTAL				**6345,50**

Concepto	Producto	Unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Material Eléctrico	Regulador BM Solar (WOLF)	1	105	105
	Sensor temperatura PT1000	2	3,65	7,30
TOTAL				**112,30**

Concepto	Producto	Unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Material Aislante	Coquilla PE 12 FORCH 1m	65	2,65	172,25
	Coquilla PE 26 FORCH 1m	15	2,85	42,75
	Material diverso (Adhesivo, pintura, etc…)	-	50	50
TOTAL				**265**

Concepto	Producto	Unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Instalación	Mano de obra	-	1000	1000
	Bancada de hormigón sujeción colectores	-	300	300
	Transporte a obra	-	400	400
TOTAL				**1700**

RESUMEN	Precio (€)
M. Solar	13107,50
M. Hidráulico	6345,50
M. Electrónico	112,30
M. Aislante	265
Instalación	1700
TOTAL	**21530,30**

6.3 Viabilidad económica

Estudiaremos la viabilidad económica mediante los parámetros VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). Ambos conceptos se basan en lo mismo, en la estimación de los flujos de caja que tengamos.

Gracias a estos dos parámetros podemos saber si nuestro proyecto es rentable o no. Hemos estimado un ahorro energético anual que nos supondrá un ahorro económico, con la idea de amortizar nuestra inversión inicial en un periodo razonable de tiempo.

Las fórmulas que seguir son las siguientes:

$$VAN = -A + \sum_{j=0}^{n} \frac{Qj}{(1+k)^j}$$

Siendo:

A: desembolso inicial: nuestro presupuesto económico

Q: flujos de caja año j

k: tasa de descuento: 2,5%

n: número de años previstos para amortizar el proyecto

$$0 = -A + \sum_{j=0}^{n} \frac{Qj}{(1+h)^j}$$

Siendo:

h: TIR

Como estudiamos en el apartado *3.3*, nuestra instalación proporcionará un ahorro energético del 66,6% al año. Suponiendo un consumo de 72856KW/anuales, el ahorro sería de 48570,26KW/anuales.

Partiremos de un precio de 0,095€/kWh, pero incrementaremos este valor un 1,9% al año debido a la inflación del precio de la electricidad en nuestro país. Este valor iremos aplicándoselo a los flujos de caja Qj en cada año en la fórmula de VAN.

Nuestro valor inicial (2018) será el presupuesto económico calculado, después, iremos calculando el flujo de caja de cada año, hasta dar con el año en el que amorticemos esta inversión inicial.

Año	Ahorro (€)	Flujo de caja (€)
2018	-	-21530,30
2019	4614,17	-16916,10
2020	4701,84	-12214,30
2021	4791,18	-7423,10
2022	4882,21	-2540,89
2023	4974,97	2434,08

Al observar el flujo de caja positivo en el quinto año de uso, tenemos que comprobar:

- VAN = 715,91
- TIR = 3,63%

Al tener un VAN > 0 y un TIR > k comprobamos que para el quinto año de uso nuestra instalación será rentable.

7. Estudio básico de seguridad y salud

7.1 Identificación de la obra

Tipo de obra

La obra objeto del presente proyecto consiste en la ejecución de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria aplicada a un uso industrial.

Suministro de energía eléctrica y de agua potable

El suministro de energía eléctrica de obra será facilitado por la empresa constructora proporcionando los puntos de enganche necesarios en el lugar del emplazamiento de la obra. En el caso de que el suministro de agua potable no pueda realizarse a través de conducciones habituales, se dispondrán los medios necesarios para contar con las mismas desde el principio de obra.

Servicios higiénicos

Se dispondrá de los servicios higiénicos reglamentarios. Los deshechos fecales se conectarán a la red de alcantarillado existente en el emplazamiento si es posible.

Responsable de Seguridad y Salud en la obra

Deberá nombrarse un Coordinador de Seguridad y Salud integrado en la Dirección facultativa. La designación de este Coordinador habrá de ser sometida a aprobación del Promotor.

7.2 Estudio preventivo de seguridad

7.2.1 Identificación previa

La empresa deberá cumplir los siguientes principios generales:

- Identificar y evitar los posibles riesgos.
- Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo.
- Tener en cuenta la evolución de la técnica.
- Sustituir todo tipo de elemento peligroso por otro que entrañe poco o ningún peligro.
- Planificar la prevención, organización y condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.
- Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
- Garantizar que todos los trabajadores hayan recibido una formación previa suficiente antes de acceder a las zonas de riesgo.

Los trabajadores, con relación a su formación y siguiendo con las instrucciones del empresario deberán:

- Usar adecuadamente las máquinas, aparatos, herramientas y cualquier otro tipo de instrumento que utilicen en su actividad.
- Utilizar debidamente los medios y equipos de protección facilitados por el empresario.
- Informar de forma inmediata al superior de turno acerca de cualquier situación que entrañe riesgo para la seguridad y salud de sus compañeros.
- Cooperar con el empresario para que este pueda garantizar unas condiciones de trabajo seguras.

7.2.2 Factores de riesgo y medidas preventivas

Basaremos nuestro estudio de riesgo y prevención según la normativa impuesta por FREMAP[24], en el documento de Prevención de Riesgos Laborales para el Mantenimiento de Instalaciones Térmicas de Edificios.

Materiales hidráulicos

- Bombas de circulación:
  Factores de Riesgo
  - Controles, alineamientos y lubricaciones en ejes, empaquetaduras, rodamientos…
  - Manipulación y contacto de productos químicos.
  - Cortes por el uso de herramientas manuales.
  - Verificación y medición de presiones.

  Medidas Preventivas
  - Las operaciones de mantenimiento y/o reparación se realizarán a motor parado o con los resguardos de protección puesto.
  - Usos de guantes de protección riesgo químico en operaciones de lubricación de la maquinaria y uso de gafas de protección frente a salpicaduras.
  - Empleo de herramientas de mano adecuadas al trabajo a realizar.
  - Los ejes de transmisión deberán estar protegidos o, en su defecto, los motores estarán parados.
- Tuberías y válvulas:
  Factores de Riesgo
  - Cortes por trabajos de reajuste y apriete con herramientas manuales.

[24] http://prevencion.fremap.es/MaterialDivulgativo/Paginas/Manuales.aspx

- Contacto con sustancias químicas y exposición a vapores de disolventes y pinturas durante el pintado de elementos.
- Fluidos a presión.

Medidas Preventivas

- Uso de guantes de protección frente al riesgo mecánico y químico y gafas de seguridad frente a proyecciones.
- Se utilizarán herramientas manuales en perfecto estado y adecuadas para la tarea a realizar.

Trabajos de altura

Factores de Riesgo

- Caídas de personas a distinto nivel en operaciones de mantenimiento y/o reparación de conducciones, tuberías…
- Caídas de objetos en operaciones que conlleven sustitución de piezas o mantenimiento de accesorios.

Medidas Preventivas

- Se usarán correctamente las escaleras de mano. Será necesario el uso de medidas tales como un arnés ante alturas superiores a los dos metros.
- No se tratará de alcanzar objetos que estén alejados de la escalera.
- Las escaleras de tijera nunca se utilizarán a "caballito".
- Queda prohibido alcanzar alturas mediante equipos de trabajo inadecuados, como elevadoras de materiales, ladrillos, etc…
- Se ha de vigilar el entorno de trabajo.
- Se mantendrá el puesto de trabajo en un correcto orden de limpieza.
- Se cerrarán perimetralmente los huecos en obra y aberturas de gran superficie.

Trabajos a la intemperie

Factores de Riesgo

- Calor: Deshidratación, golpes de calor, insolación
- Frío: Hipotermia, Disminución de la sensibilidad de las extremidades.

Medidas Preventivas

- Utilizar ropa adecuada según la estación del año.
- Uso de gorras y sombreros en temporadas calurosas y ropa de protección aislante adecuada a las temperaturas frías.
- Prever lugares adecuados para los descansos (sombras).
- Ingerir bebidas que repongan los líquidos perdidos durante el trabajo para disponer de una correcta hidratación.

Trabajos en solitario

Factores de Riesgo

- Dificultad en la adopción de medidas de emergencia por falta de ayuda y auxilio.

Medidas Preventivas

- Antes de comenzar trabajos en solitario, informar sobre si es necesario establecer medidas específicas ante situaciones de emergencia.
- Garantizar tu situación personal mediante teléfono móvil, radioteléfono, etc…

Herramientas manuales

Factores de Riesgo

- Golpes, cortes…

Medidas Preventivas

- Seleccionar la herramienta correcta para cada tarea.
- Verificar que no tengan defectos ni desgastes que dificulten su correcta aplicación o que generen nuevos riesgos.
- Disponer de protectores para las herramientas cortantes afiladas a la hora de transportar estas.
- Las herramientas destinadas a trabajos con aparatos eléctricos deberán disponer de mangos aislantes.

Manipulación de productos químicos

Factores de Riesgo

Figura 18. Factores de riesgo de productos químicos según FREMAP

Medidas Preventivas

- Seguir las instrucciones del etiquetado del envase y disponer de una ficha de seguridad de los productos.
- Utilizar envases originales o debidamente etiquetados sin posibilidad de confusión.
- Desechar productos que carezcan de identificación.
- No mezclar productos químicos incompatibles.
- Guardar los envases alejados de las fuentes de calor, cerrados y correctamente etiquetados.
- Lavarse las manos después de la manipulación de los mismos.
- No comer, beber o fumar en el puesto de trabajo.
- Proteger manos y ojos debidamente mediante el uso de los mismos.
- En el caso de ingestión y/o desparrame accidental llame al Instituto Nacional de Toxicología: Tel. 91 562 04 20

- Etiquetado y pictogramas de los envases:

Figura 19. Etiquetado de sustancias peligrosas.

Transporte

Medidas Preventivas

- Prohibido el uso de los vehículos por personal no autorizado.
- Los vehículos han de estar equipados con luces y rueda de repuesto, linternas, chaleco de alta visibilidad, botiquín y extintor.
- Uso de guantes para la carga y descarga.
- Distribución de la carga homogéneamente.
- No cargar el vehículo con más peso del máximo autorizado.

7.2.3 Protecciones colectivas

Señalización

El Real Decreto 485/1997, de 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de carácter general relativas a la señalización de seguridad y salud en el trabajo, indica que deberá utilizarse una señalización de seguridad y salud a fin de:

- Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.

- Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas urgentes de protección o evacuación.

Las señales podrán ser tanto visuales como sonoras. Se emplearán las señales normalizadas tanto en colores, como en tamaño, siendo las mismas de fácil comprensión para los trabajadores.

7.2.4 Equipos de Protección Individual (E.P.I)

Guantes

- Guantes de protección frente al riesgo mecánico
- Guantes de proteccion frente al riesgo químico.
- Guantes de protección frente al riesgo biológico.
- Guantes de protección frente temperaturas.
- Guantes de protección frente al riesgo eléctrico.

Ropa para trabajos a la intemperie

- Para bajas temperaturas deben llevar el pictograma:

7.2.5 Incendios

- Está prohibido fumar en los centros de trabajo.
- Nunca se empleará agua para la extinción de incendios en equipos eléctricos.
- Los pasillos, escaleras, salidas, etc… nunca deberán estar bloqueadas.
- Se deberá conocer la localización de las vías de evacuación.
- Si se te prende la ropa, tiéndete en el suelo y échate a rodar. Pide ayuda.

7.2.6 Emergencias

- Comunique la emergencia, aunque esté seguro de poder apagar el fuego con los medios disponibles.
- Indique con calma quien informa, que ocurre y donde ocurre.
- Mantenga la calma, no grite, no corra para no provocar pánico.
- Si se ve rodeado por el humo, salga de la zona afectada gateando o arrastrándose por el suelo.
- En caso de evacuación, no utilice ascensores/montacargas, diríjase con calma pero de manera rápida hacia lugar seguro.

7.3 Formación y procedimiento de trabajo

Hemos tomado como referencia los programas de formación y los procedimientos de trabajo impuestos por FREMAP para este tipo de instalaciones.

Formación común

- Manejo de cargas.
- Riesgos eléctricos.
- Trabajos en altura y a la intemperie.
- Seguridad en el mantenimiento de equipos de trabajo.
- Incendios y emergencias.

Formación equipos de calefacción

- Combustibles.
- Legionella.

Formación equipos de climatización

- Refrigerantes.
- Legionella.

Los procedimientos de trabajo son los siguientes:

- Consignación de instalaciones.
- Seguridad en el mantenimiento de equipos de trabajo.
- Manipulación de combustibles gaseosos.
- Trabajos en presencia de electricidad.
- Trabajos en altura.
- Trabajos con gases comprimidos.

8. Pliego de condiciones técnicas

8.1 Objeto

En el presente Pliego de Condiciones Técnicas se muestran los criterios generales del proyecto de instalación de captadores solares térmicos para la producción de agua caliente sanitaria para uso industrial.

Definiremos los equipos y materiales utilizados, los montajes y puestas en marcha y los distintos mantenimientos preventivos y correctivos a realizar.

8.2 Normativa aplicable

Deberemos cumplir los requisitos exigidos en los siguientes reglamentos:

- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.
- Código Técnico de la Edificación (CTE) y sus instrucciones técnicas complementarias:
  - Protección frente al ruido (CTE-DB-HR).
  - Acciones en la edificación (CTE-DB-AE).
  - Seguridad en caso de incendio (CTE-DB-SI).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- Cumplimiento de todo tipo de normativa Regional y Local.
- Norma UNE-EN 12975-1:2006: “Sistemas solares térmicos y componentes”

8.3 Condiciones de material y equipo

8.3.1 Captadores Solares

<u>Generalidades</u>

El colector llevará una etiqueta visible y duradera con los siguientes datos:

- Nombre del fabricante.
- Tipo de colector.
- Datos del producto:
  - Número de serie.
  - Año de fabricación.
  - Lugar de fabricación.
  - Superficie de captación.
  - Dimensiones.
  - Presión máxima de trabajo.

- Rango de temperaturas de trabajo.
- Volumen de los tubos del colector.
- Peso del captador.

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

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

Modelo de captador

Todos los captadores utilizados para la instalación deberán ser del mismo tipo y modelo. Si no fuera posible mantener el mismo modelo en la rehabilitación o ampliación, se dispondrá de un sistema de regulación de caudal por baterías que permita que las nuevas baterías presenten el mismo caudal que las existentes cuando circule por el circuito primario el caudal de diseño.

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

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

Estructura soporte y sujeción de los captadores

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

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

8.3.2 Tuberías

En los circuitos cerrados de instalaciones de A.C.S. podrán utilizarse cobre y acero inoxidable o material plásticos compatibles con el fluido que utilizan, que soporten las condiciones extremas de funcionamiento del correspondiente circuito y con la protección necesaria en función de su ubicación.

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

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

Todos los elementos metálicos no galvanizados se les aplicará dos capas de pintura antioxidante a base de resinas sintéticas acrílicas multipigmentadas por minio de plomo, cromado de zinc y óxido de hierro. Las dos manos se darán: la primera fuera de obra y la otra con el tubo instalado.

8.3.3 Accesorios

Juntas

No se utilizará amianto. La presión nominal mínima será PN-10 y soportarán temperaturas de hasta 200ºC.

Acoplamientos

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

Derivaciones

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

Codos en bombas

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

Guías

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

Termómetros

Los termómetros serán de mercurio de vidrio, con una escala adecuada para el servicio dentro de una caja metálica protectora con ventana de vidrio, instalados de modo que su lectura sea sencilla.

Válvulas de seguridad

Se incluirán todas las válvulas de seguridad indicadas, o necesarias para un funcionamiento completamente seguro y correcto de los sistemas. Durante el periodo de pruebas de la instalación se procederá al timbrado de las mismas. Las válvulas de seguridad de alivio serán de paso angular y carga por resorte.

Manómetros

Los manómetros serán con válvula de aguja de aislamiento de acero inoxidable, e inmersos en glicerina. Los rangos de los manómetros serán tales que la aguja, durante el funcionamiento normal, este en el medio del dial. La precisión será de al menos el 1%.

Purgadores de aire

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

En el caso de que, una vez que las redes estén en funcionamiento, se den anomalías por presencia de aire en la instalación, se instalaran nuevos empalmes, purgadores, válvulas según se considere necesario y sin costes extra.

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

El material para los purgadores era el siguiente:

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

Conexiones a equipos

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

8.3.4 Válvulas

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

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

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado: válvulas de asiento.
- Para vaciado/llenado: válvulas de esfera.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco o de muelle.

Los materiales principales de las válvulas deberán ser los siguientes:

Válvulas de esfera:

- Cuerpo de fundición de hierro o acero.
- Esfera y eje de acero duro cromado o acero inoxidable.
- Asientos, estopada y juntas de teflón o de latón estampado dependiendo de las dimensiones.

Válvulas de asiento:

- Cuerpo de bronce o de fundición de acero o hierro.
- Tapa del mismo material que el cuerpo.
- Obturador en forma de pistón o de asiento plano con cono de regulación de acero inoxidable o acero de teflón.
- Asiento integral en bronce o en acero inoxidable.
- Prensa, estopas del mismo material que cuerpo.

Válvulas de seguridad de resorte:

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

Válvulas de retención:

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

8.3.5 Aislamientos

La norma UNE 100171 rige las condiciones que se deben cumplir con el material usado para los aislamientos.

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

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

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

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

8.3.6 Vasos de expansión

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

- Fabricante.
- Modelo.
- Marca.

Se recomienda que los vasos de expansión utilizados en los circuitos primarios tengan una temperatura máxima de funcionamiento superior a 100ºC pero, en cualquier caso, se adoptarán las medidas necesarias para que no llegue el vaso fluido a temperatura superior a la que el mismo puede soportar.

En caso de fugas, los vasos de expansión deberían presurizarse con nitrógeno puro. El uso de aire no es aconsejable porque puede reducir el rendimiento y la vida útil del mismo.

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

El depósito estará dividido en dos cámaras herméticas entre sí, por la membrana de dilatación, construida en caucho butílico o polipropileno, con elasticidades recuperables a temperaturas inferiores a 60ºC, sin degradación del material.

8.3.7 Bombas de circulación

Las bombas llevarán una placa de identificación situada en lugar claramente visible y escrito con caracteres indelebles en las que aparecerán los siguientes datos:

- Fabricante.
- Modelo.
- Marca.
- Características técnicas.

Los materiales empleados para las bombas serán los siguientes:

- Cuerpo en fundición o bronce. Partidos, o no, según planos. Se incluirán conexiones para cebado, venteo, drenaje y manómetros en impulsión y descarga.
- Rodete de fundición de bronce.
- Eje en acero inoxidable AISI 316.
- Tubo de estanqueidad en acero inoxidable.
- Cojinetes a bolas de carbono, a prueba de polvo y humedad.
- Cierres mecánicos y separadores de sedimentos.
- Juntas torcas de EPDM.
- Acoplamientos flexibles del tipo todo acero con protector de acoplamiento. Se incluirá espaciador en el acoplamiento para facilitar el mantenimiento del grupo.
- Rotor húmedo o seco, según documentos del proyecto.
- Caudal, altura manométrica, potencia del motor, numero de velocidades y presión sonora según lo establecido en el presupuesto o especificaciones técnicas.
- Los materiales del circuito serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

8.3.8 Sistema eléctrico y de regulación

La instalación eléctrica cumplirá con el vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT[25]) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

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

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

[25] http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx

- Activar la bomba de circulación en función del salto de temperaturas entre la salida de batería de captadores y la parte baja del acumulador.
- La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que detecten exactamente las temperaturas que se desean, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los colectores y las zonas de estancamiento.
- La precisión de los sistemas de control y la regulación de los puntos de consigna asegurará que en ningún caso las bombas estén en marcha con diferencias de temperaturas menores de 3ºC ni paradas con diferencias superiores a 7ºC.
- El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de alimentación del sistema de funcionamiento de las bombas.

8.3.9 Aparatos de medida

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

Medida de temperaturas

Se realizarán mediante sondas, termopares, termómetros de resistencia o termistores.

La diferencia de temperatura del fluido de trabajo se realizaran mediante termopilas, termómetros de resistencia o termopares emparejados, de forma que la señal de salida sea única en todos los casos.

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

Medida de caudal

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

Cuando exista un sistema de regulación exterior, este estará precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas. Se suministraran los siguientes datos:

- Calibres.
- Temperaturas máximas.
- Caudales y presiones (de trabajo, mínimo, máximo, etc…).
- Dimensiones.
- Perdidas de carga.

Las medidas de caudales de líquidos se realizarán mediante turbinas, medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimientos gravimétricos.

8.3.10 Intercambiador de calor

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

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

- Fabricante.
- Modelo.
- Marca.
- Número de placas.
- Temperatura máxima.
- Presión nominal.
- Potencia nominal.
- Caudal nominal de cada circuito.
- Salto de temperaturas nominal en circuitos.

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

8.3.11 Depósito acumulador

El depósito acumulador deberá especificar las siguientes características:

- Fabricante.
- Modelo.
- Marca.
- Volumen real.
- Dimensiones.
- Presión máxima de trabajo.
- Temperatura máxima de trabajo.
- Materiales.

El depósito estará fabricado de acuerdo con el especificado en el Reglamentos de Aparatos a Presión[26] según el BOE, num.31, de 5 de febrero de 2009. El acumulador

[26] https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-1964

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

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

Podrán utilizarse depósitos con las siguientes características según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura:

- Depósitos de acero galvanizado en caliente de cualquier tamaño, con espesores de galvanizado no inferiores a los especificados en la norma UNE 37501.
- Depósitos de acero con tratamiento epoxídico.
- Depósitos de acero inoxidable o de cobre de cualquier tamaño.
- Acumuladores no metálicos que, además de soportar las condiciones extremas del circuito, resistan la acción combinada de presión y temperaturas más desfavorables.

8.4 Condiciones de montaje

La instalación se construirá en su totalidad utilizando materiales y procedimientos de ejecución que garanticen las exigencias del servicio, durabilidad, salubridad y mantenimiento. Se tendrán en cuenta las especificaciones dadas por los fabricantes de cada uno de los componentes.

A efectos de las especificaciones de montaje de la instalación, éstas se complementarán con la aplicación de las reglamentaciones vigentes que tengan competencia en cada caso. Según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, algunas condiciones básicas de montaje son las siguientes:

- La instalación de los equipos, válvulas y purgadores permitirá su posterior acceso a las mismas a efectos de su mantenimiento, reparación o desmontaje.
- Todos los equipos y circuitos podrán vaciarse total o parcialmente, realizándose esto desde los puntos más bajos de la instalación.
- Las conexiones entre los puntos de vaciado y desagües se realizarán de forma que el paso del agua quede perfectamente visible.
- Los botellines de purga estarán siempre en lugares accesibles y, siempre que sea posible, visibles.

8.5 Mantenimiento

Se realizará un contrato de mantenimiento (preventivo y correctivo) por un periodo de tiempo al menos igual que el de la garantía.

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie útil homologada igual o inferior a 20m^2, y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficies superiores a 20m^2.

8.5.1 Programa de mantenimiento

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

Plan de vigilancia

Consistirá en un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Se observará el correcto comportamiento y estado de los distintos componentes.

Tabla 16. Alcance vigilancia establecida por el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.

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

Plan de mantenimiento preventivo

El plan de mantenimiento preventivo consistirá en una serie de visitas cada cierto tiempo para comprobar que todos los equipos de la instalación funcionan correctamente, realizando operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

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

En las siguientes tablas establecidas por el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura aparecen los periodos mínimos de mantenimiento de cada componente, así como la descripción de dichas actuaciones.

Tabla 17. Sistema de captación

Equipo	*Frecuencia (meses)*	*Descripción*
Captadores	6	IV- Diferencias sobre original.
		IV- Diferencias entre captadores.
Cristales	6	IV- Condensaciones y suciedad.
Juntas	6	IV- Agrietamientos, deformaciones.
Absorbedor	6	IV- Corrosión, deformaciones.
Carcasa	6	IV- Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración.
Conexiones	6	IV- Aparición de fugas.
Estructura	6	IV- Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos.

Tabla 18. Sistema de acumulación.

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

Tabla 19. Sistema de intercambio

Equipo	*Frecuencia (meses)*	*Descripción*
Intercambiador de placas	12	CF - Eficiencia y prestaciones.
	12	Limpieza.

Tabla 21. Circuito hidráulico.

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

Tabla 20. Sistema eléctrico y de regulación.

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

Plan de mantenimiento correctivo

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

Los costes económicos del mantenimiento correctivo forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Podrán no estar incluidas ni las reposiciones de equipos necesarias, ni la mano de obra, así como los transportes.

8.5.2 Garantías

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

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

La garantía comprende la reparación o reposición, en su caso, de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, así como la mano de obra empleada en la reparación o reposición durante el plazo de vigencia de la garantía. Quedan incluidos todos los demás gastos dependientes de lo citado, como el transporte, disponibilidad de otros medios y eventuales portes de recogida y devolución de los equipos para su reparación en los talleres del fabricante.

Cuando el usuario detecte un defecto de funcionamiento en la instalación, lo comunicará al suministrador. Cuando el suministrador considere que es un defecto de fabricación de algún componente lo comunicara al fabricante. El suministrador deberá atender el aviso en un plazo de:

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

Las averías de las instalaciones se repararán en su lugar de ubicación por el suministrador. Si la avería de algún componente no pudiera ser reparada en el domicilio del usuario, el componente deberá ser enviado al taller oficial designado por el fabricante.

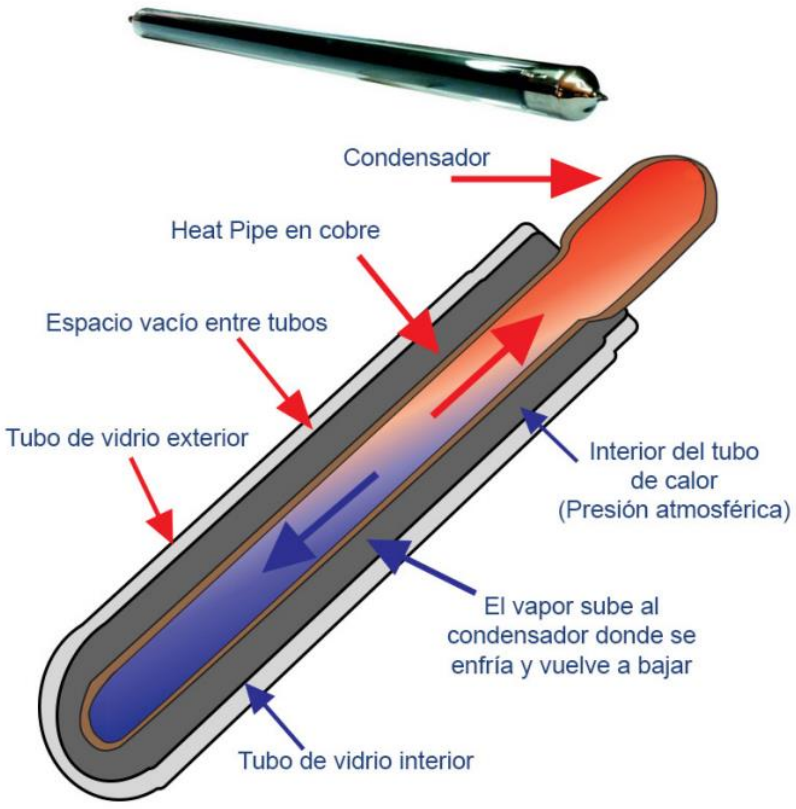
ANEXOS

9. Elementos

9.1 Colectores

Tabla 22. Datos técnicos

Longitud (mm)	1800
Diámetro tubo exterior (mm)	58
Diámetro tubo interior (mm)	48
Peso (Kg)	1.53
Grosor del cristal (mm)	1,6
Dilatación térmica (mm)	$3.3x10^{-6}$ K
Material	Vidrio de Borosilicato 3.3
Recubrimiento absorbente	AL- N / AL
Absorción	>92% (AM 1.5)
Pérdida	< 8 % W (80ºC)
Presión de vacío	$P<5x10^{-3}$ Pa
Temperatura de estancamiento	>200ºC
Presión máxima de trabajo	10 bar



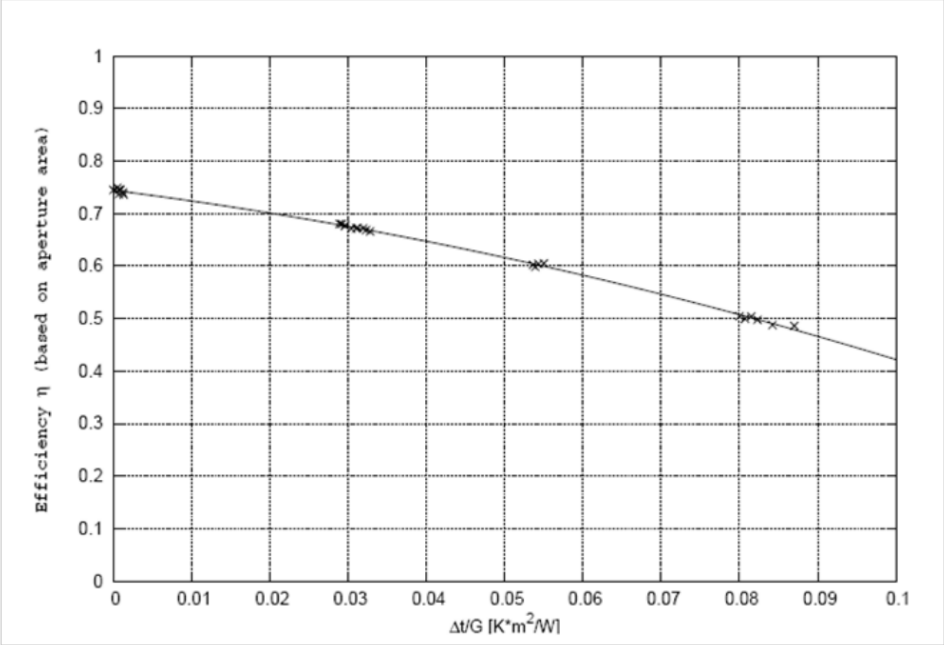


Figura 20. Curva de rendimiento óptico

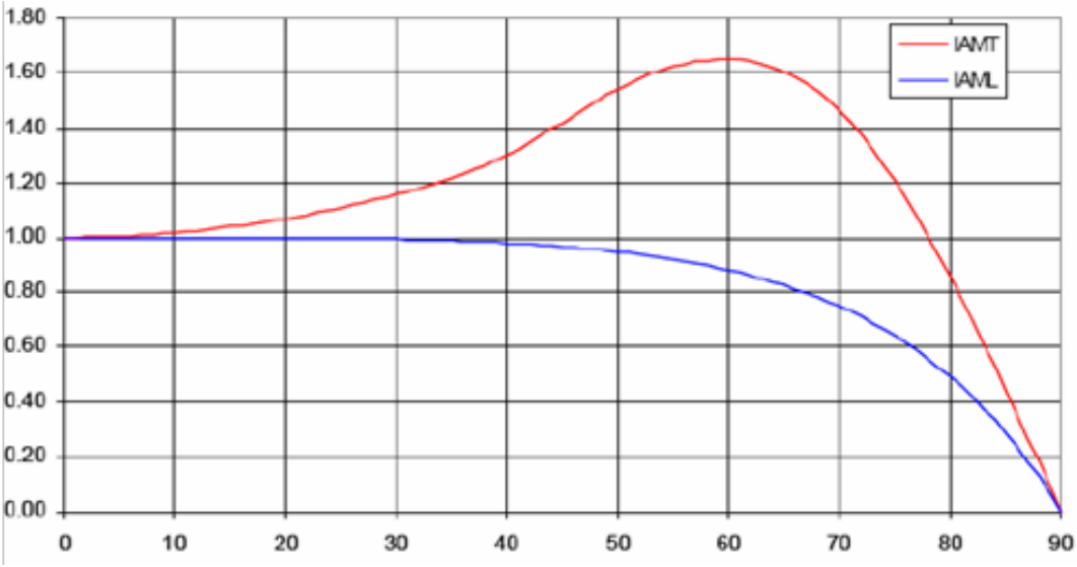


Figura 21. Curva de rendimiento según ángulo

Tabla 23. Condiciones

Máxima presión del líquido	1000 KPa
Presión líquido recomendada	600 KPa
Temperatura máxima funcional	95ºC
Temperatura estancamiento	200.3 ºC
Inclinación recomendada	15 º- 75º
Caudal recomendado	20 -30 l/m2h
Instalaciones en serie	Se pondrán colocar un máximo de 200 tubos en serie (Ejemplo: 10XAM-Tubosol de 20 tubos)

9.2 Intercambiador de calor

Tabla 24. Datos de funcionamiento IPT

Nº placas	Código	Potencia (kw)	Caudal (litros / hora)		Pérdida carga (mca)		Peso (Kg.)
			Primario	Secundario	Primario	Secundario	
14	IPT06011430	5	450	135	0,29	0,04	1,5
24	IPT06012430	10	900	270	0,45	0,05	2
46	IPT06014630	20	1.800	540	0,86	0,08	3,1
26	IPT06022630	30	2.700	810	2,81	0,31	5,3
34	IPT06023430	40	3.600	1.080	2,99	0,32	6,4

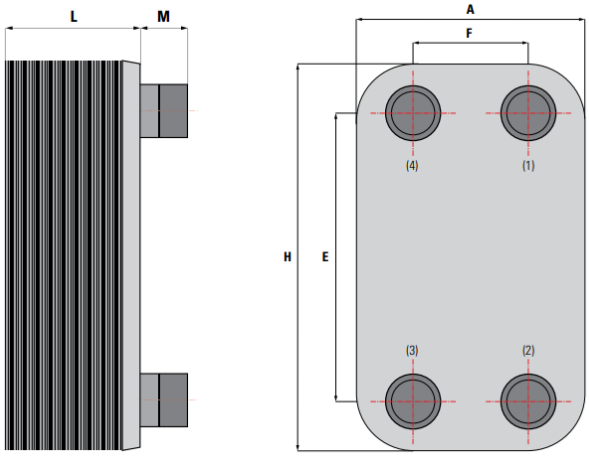
Los datos térmicos están calculados para un primario con propilenglicol al 30% de 55 a 45 °C y un secundario con agua de 15 a 47 °C

Tabla 25. Datos técnicos y condiciones de diseño

Modelo	Presión máx. trabajo (bar)	Temperatura máx. trabajo (ºC)	Área / placa (m^2)	Peso (Kg.)
IPT0601	30	-160 / 200	0,0123	0,8+0,05*nº placas
IPT0602	30	-160 / 200	0,0265	1,8+0,135*nº placas
IPT0607	16	-160 / 200	0,1036	8,5+0,49*nº placas

Tabla 26. Dimensiones

Modelo	Dimensiones (mm)						Conexiones Roscadas MACHO
	H	E	A	F	M	L	
IPT0601	194	154	80	40	20	10 + 2,25 * Nº placas	3/4"
IPT0602	306	250	106	50	27	12,4 + 2,36 * nº placas	1"
IPT0607	527	430	245	148	42	11 + 2,85 * nº placas	2" 1/2



1 Entrada primario
2 Salida primario
3 Entrada secundario
4 Salida secundario

9.3 Bombas

Tabla 27. Datos técnicos

Tensión de alimentación:	1x230V+/-10% Frecuencia: 50/60 Hz PE
Clase de protección:	IPX4D
Clase de aislamiento:	F
Humedad relativa:	Máx. 95%
Temperatura ambiente:	De 0°C a +40°C
Temperatura del líquido:	De +2°C a +110°C
Clase de temperatura:	TF 110 a CEN 335-2-51
Presión del sistema	Máx. 1.0 MPa, 10 bar, 102 mVS.
Presión de entrada:	+75°C 0,005 MPa, 0.05 bar, 0.5 mVS +90°C 0,028 MPa, 0.28 bar, 2.8 mVS +110°C 0,108 MPa, 1.08 bar, 10.8 mVS

Directiva sobre Baja Tensión (2006/95/EC):	Normativa aplicada: EN 60335-2-51: 2003
Directiva EMC (2004/108/EC):	Normativa aplicada: EN 55014-1: 2006 y EN55014-2: 1997
Directiva de EcoDiseño (2009/125/EC):	Normativa aplicada: EN 16297-1: 2012 y EN 16297-2: 2012
Nivel de ruido:	Inferior a 43dB(A)
Potencia de entrada:	Mín 3W, Máx 22-34W
Longitudes:	130, 180 mm
Materiales del cuerpo de la bomba:	Hierro fundido/Acero inoxidable

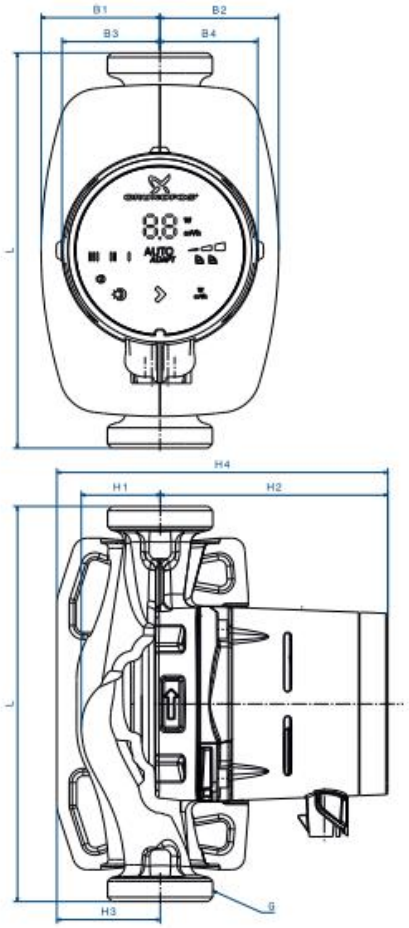
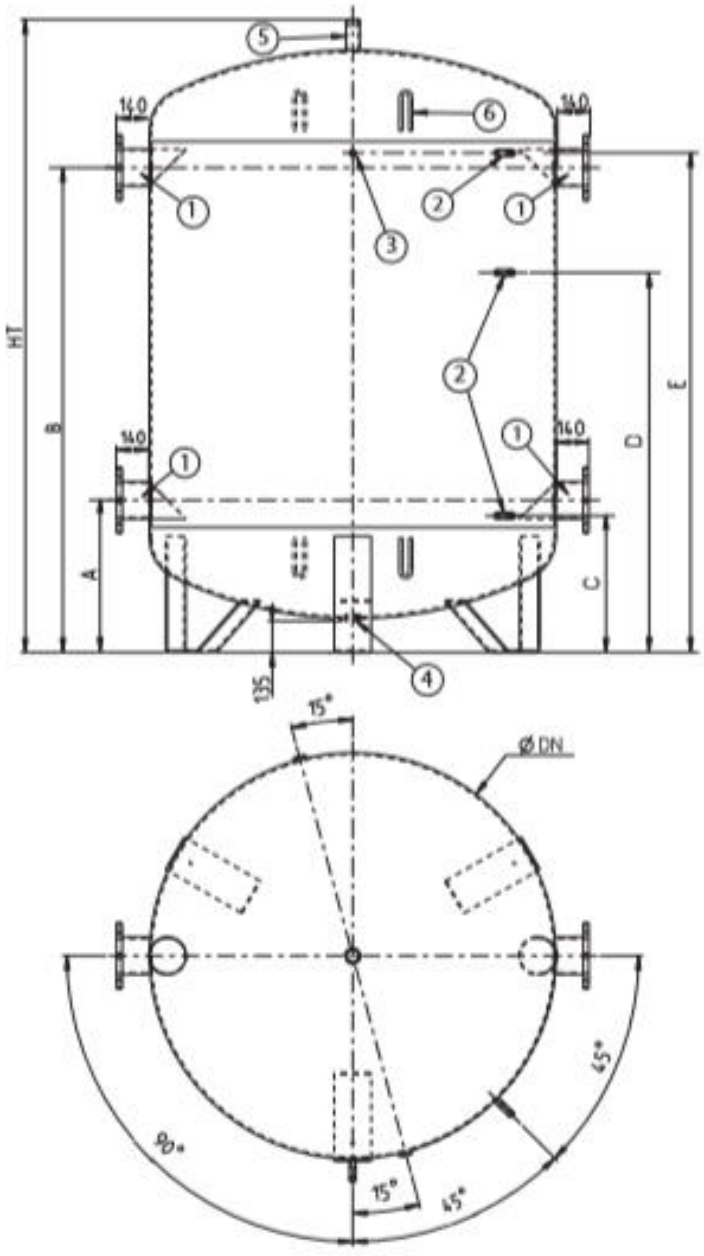


Figura 22. Dimensiones

9.4 Acumulador



1. Conexión con la red primaria/secundaria
2. Toma de termostato o sonda de temperatura
3. Toma de termómetro
4. Conexión de vaciado
5. Conexión de purga
6. 2 anillos de elevación a 180º

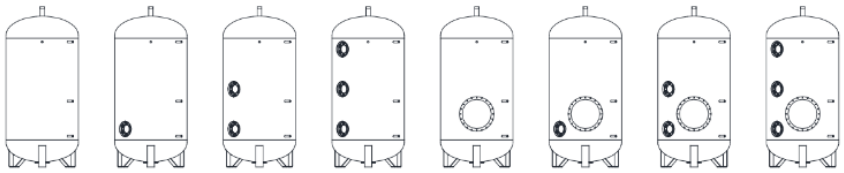
Figura 23. Dimensiones

Tabla 28. Potencias eléctricas según volumen

	Potencias eléctricas resistencias									
	4,8 kW esteatita	5 kW blindada	9 kW esteatita	10 kW blindada	12 kW esteatita	15 kW blindada	18 kW esteatita	24 kW esteatita	25 kW blindada	30 kW blindada
500 L	6h00	6h00								
750 L			5h00	4h30						
900 L			6h00	5h30						
1000 L			6h30	6h00	5h00 **	4h00				
1500 L					7h30	6h00	5h00			
2000 L						8h00	6h30	5h00	4h45	4h00
2500 L							8h15	6h15	6h00	5h00
3000 L								7h30	7h15	6h00
4000 L								9h40	9h20	7h45
5000 L								12h00	11h40	9h40

** disponible solo para el modelo 1000 TB (tamaño pequeño).

Tabla 29. Pérdidas estáticas



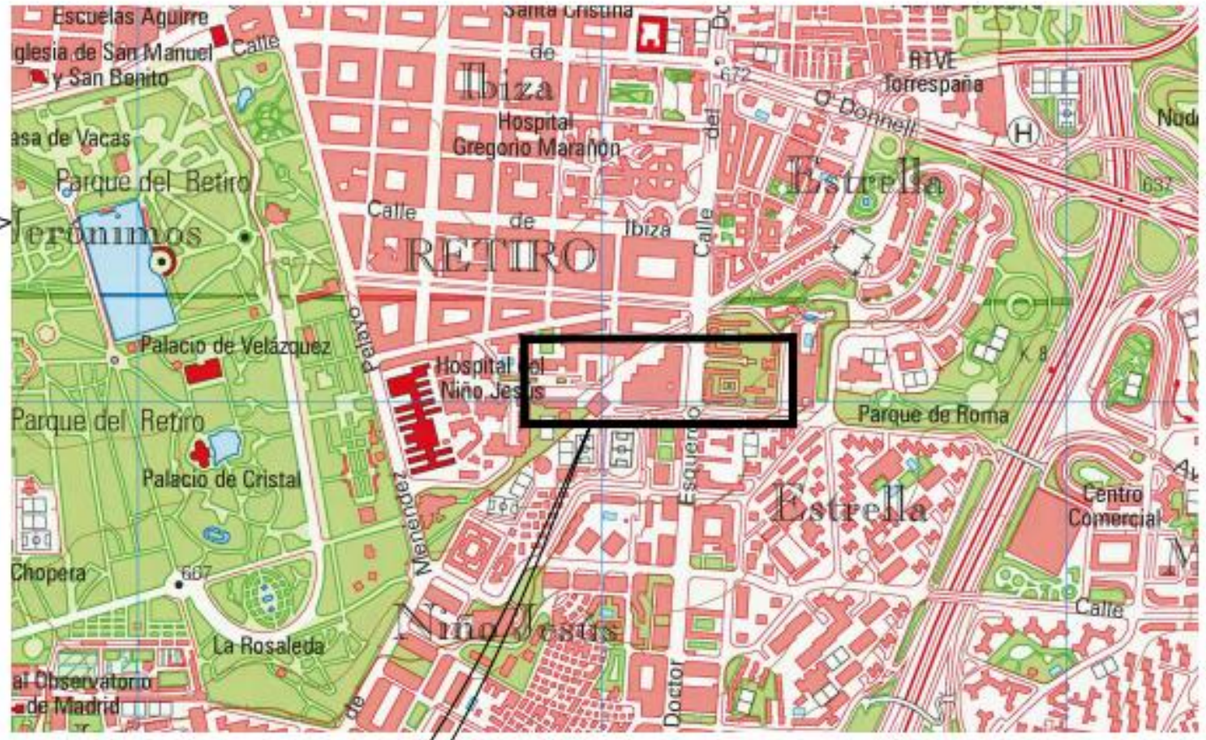
SM1

2500L	167,5	171,7	175,8	180,0	179,6	183,8	187,9	192,1
2500LTB	181,3	185,4	189,6		193,3	197,5	201,7	
3000L	190,4	194,6	198,8	202,9	202,5	206,7	210,8	215,0
3000LTB	195,8	200,0	204,2	208,3	207,9	212,1	216,3	220,4
4000L	238,8	242,9	247,1	251,3	250,8	255,0	259,2	263,3
5000L	308,3	312,5	316,7	320,8	320,4	324,6	328,8	332,9

TOP NC

2500L	187,5	191,7	195,8	200,0	199,6	203,8	207,9	212,1
2500LTB	202,9	207,1	211,3		215,0	219,2	223,3	
3000L	213,3	217,5	221,7	225,8	225,4	229,6	233,8	237,9
3000LTB	220,0	224,2	228,3	232,5	232,1	236,3	240,4	244,6
4000L	268,3	272,5	276,7	280,8	280,4	284,6	288,8	292,9
5000L	327,9	332,1	336,3	340,4	340,0	344,2	348,3	352,5

10. Planos



TÍTULO DEL PROYECTO:
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV, en la Calle Dr. Esquerdo, 62 28007 (Madrid)

DENOMINACIÓN DEL PLANO: PLANO DE SITUACIÓN

PLANO Nº: 01

HOJA Nº: 01 DE 01

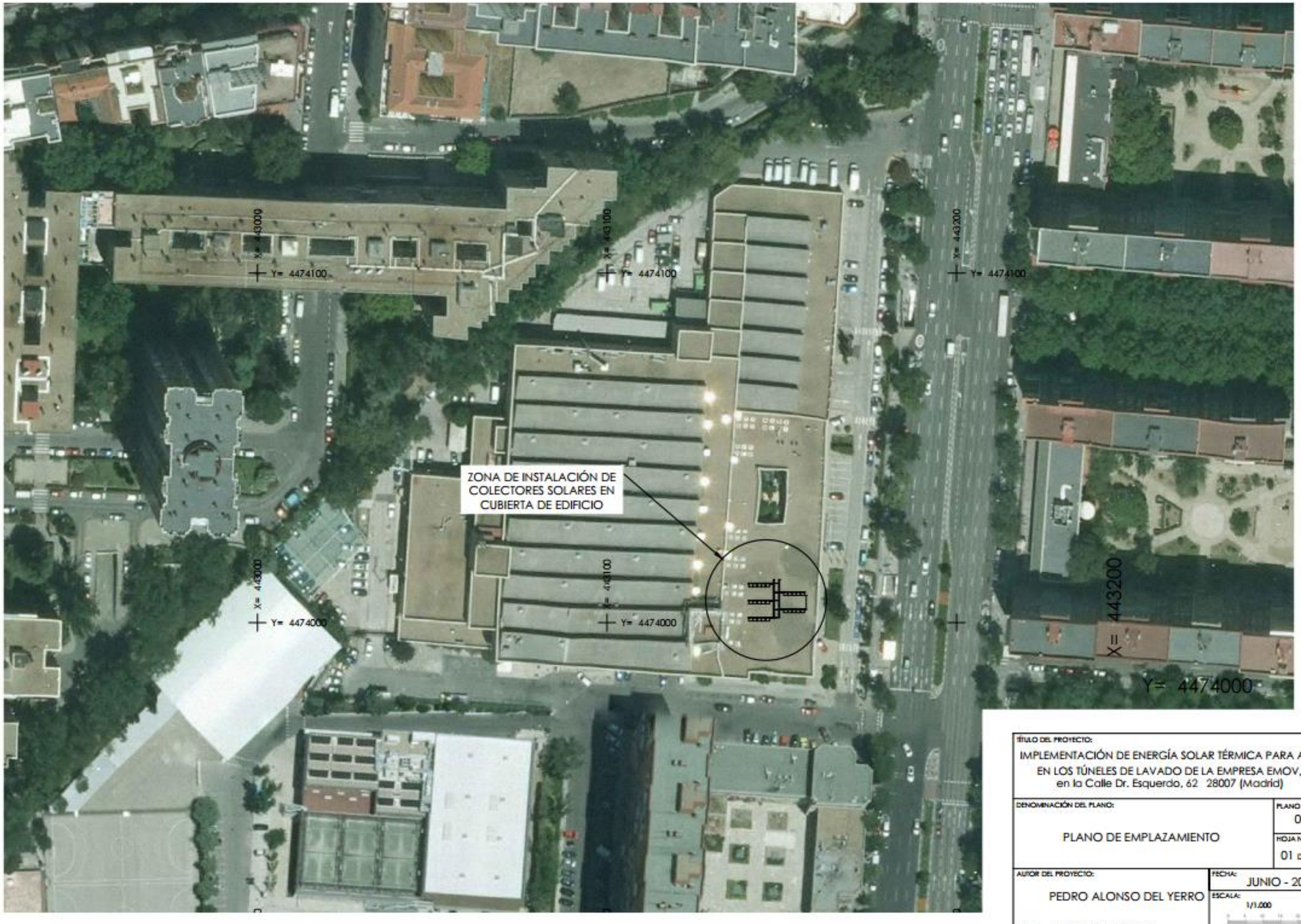
AUTOR DEL PROYECTO: PEDRO ALONSO DEL YERRO

FECHA: JUNIO - 2018

ESCALA: VARIAS

TUTOR: LUIS JAVIER MATA GARCÍA

UNIDADES ORIGINAL



TÍTULO DEL PROYECTO:

IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV, en la Calle Dr. Esquerdo, 62 28007 (Madrid)

DENOMINACIÓN DEL PLANO:

PLANO DE EMPLAZAMIENTO

PLANO Nº: 02

HOJA Nº: 01 DE 01

AUTOR DEL PROYECTO:

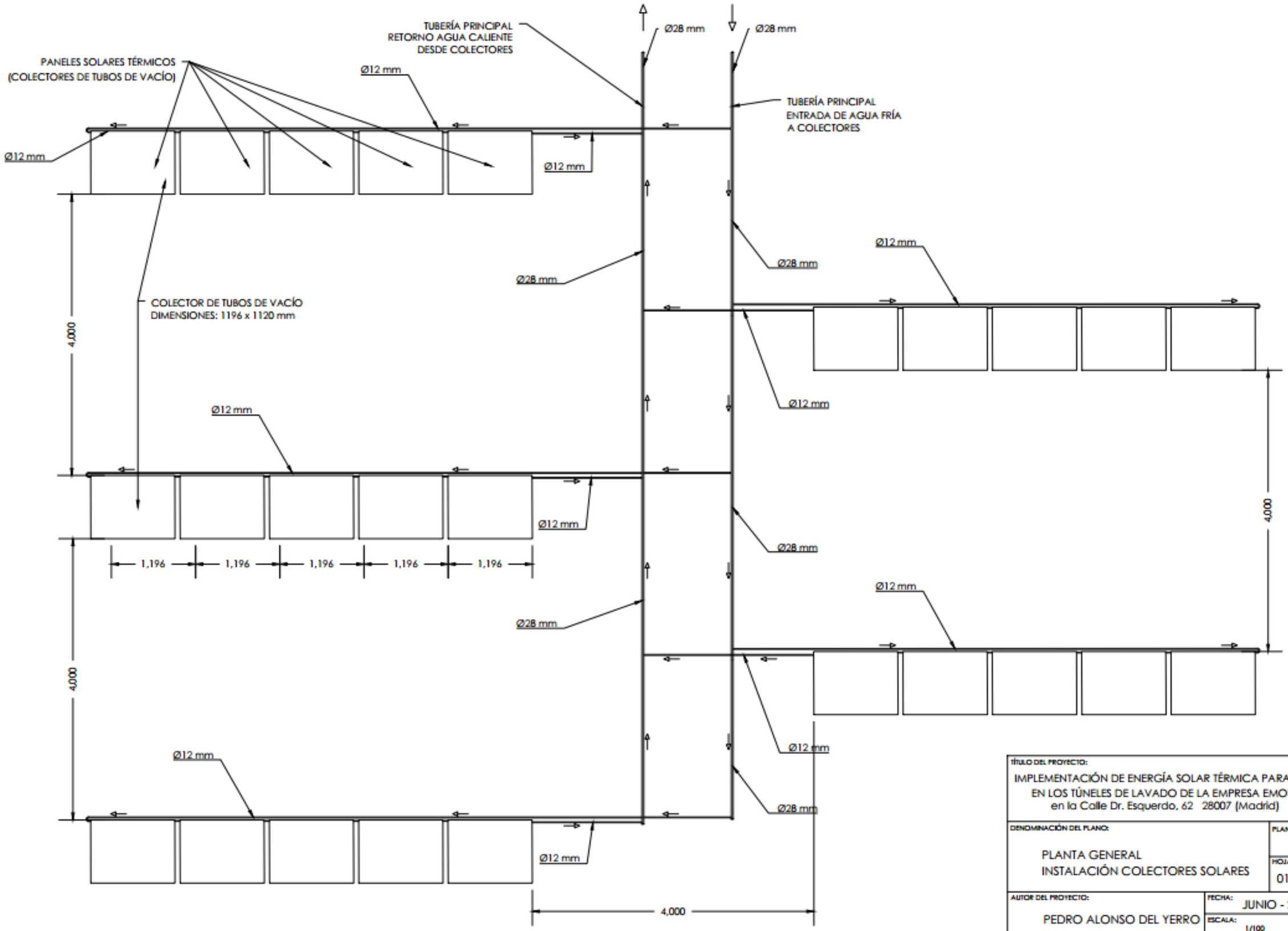
PEDRO ALONSO DEL YERRO

TUTOR: LUIS JAVIER MAÍA GARCÍA

FECHA: JUNIO - 2018

ESCALA: 1/1.000

UNE A3 ORIGINAL



TÍTULO DEL PROYECTO:

IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV, en la Calle Dr. Esquerdo, 62 28007 (Madrid)

DENOMINACIÓN DEL PLANO:

PLANTA GENERAL
INSTALACIÓN COLECTORES SOLARES

PLANO Nº: 03

HOJA Nº: 01 DE 01

AUTOR DEL PROYECTO:

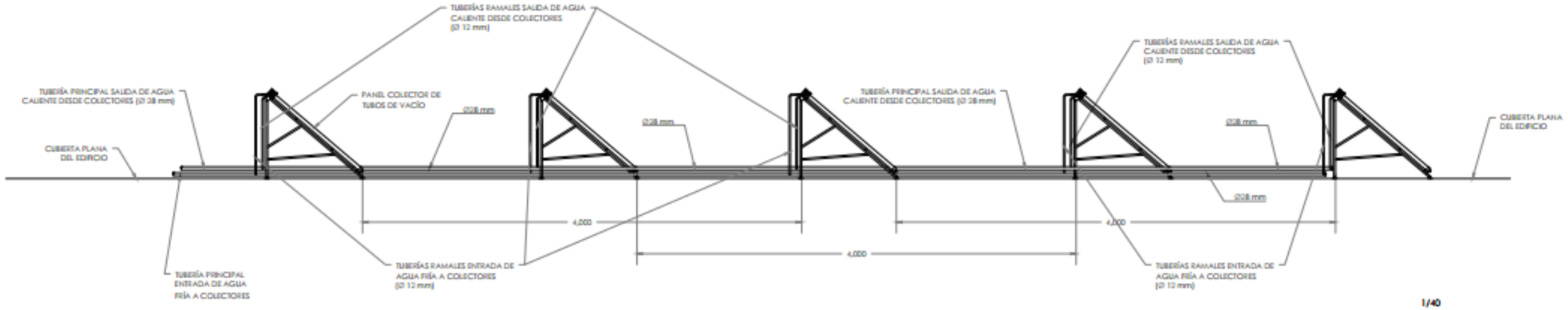
PEDRO ALONSO DEL YERRO

TUTOR: LUIS JAVIER MATA GARCÍA

FECHA: JUNIO - 2018

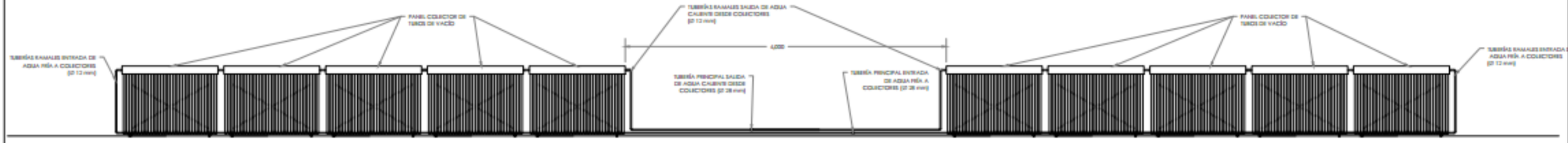
ESCALA: 1/100

UNE A3 ORIGINAL



ALZADO LATERAL
Vista desde el Oeste Geográfico

1/40



ALZADO FRONTAL
Vista desde el Sur Geográfico

1/50

TÍTULO DEL PROYECTO:
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV, en la Calle Dr. Esquerdo, 62 28007 (Madrid)

DENOMINACIÓN DEL PLANO:
INSTALACIÓN COLECTORES
ALZADO FRONTAL
ALZADO LATERAL

PLANO Nº: 04

HOJA Nº: 01 DE 01

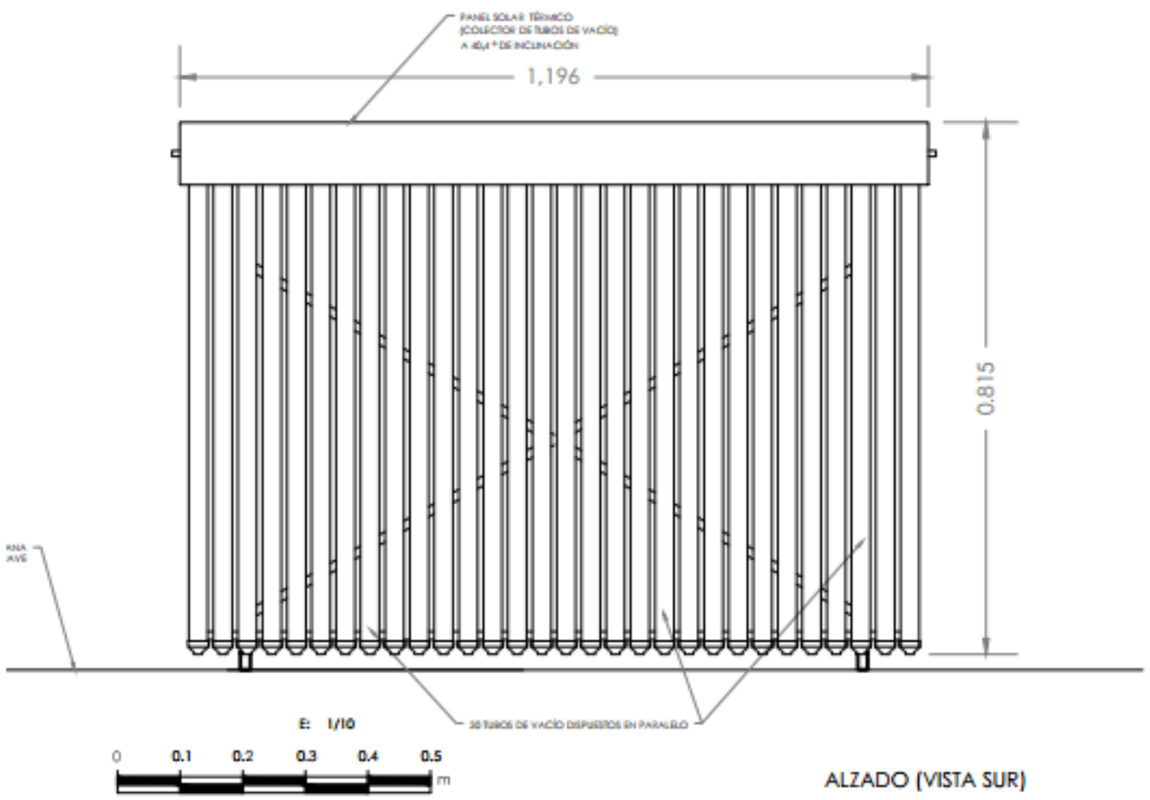
AUTOR DEL PROYECTO: PEDRO ALONSO DEL YERRO

FECHA: JUNIO - 2018

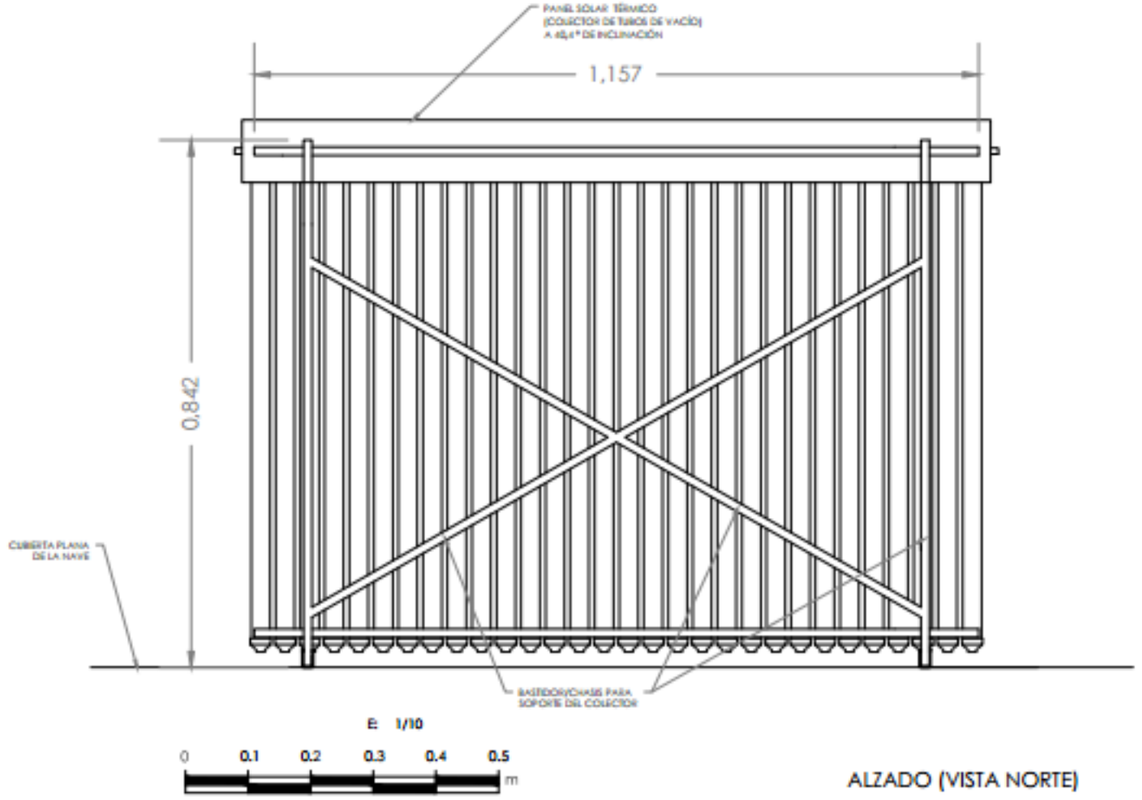
ESCALA: VARIAS

TUTOR: LUIS JAVIER MATA GARCÍA

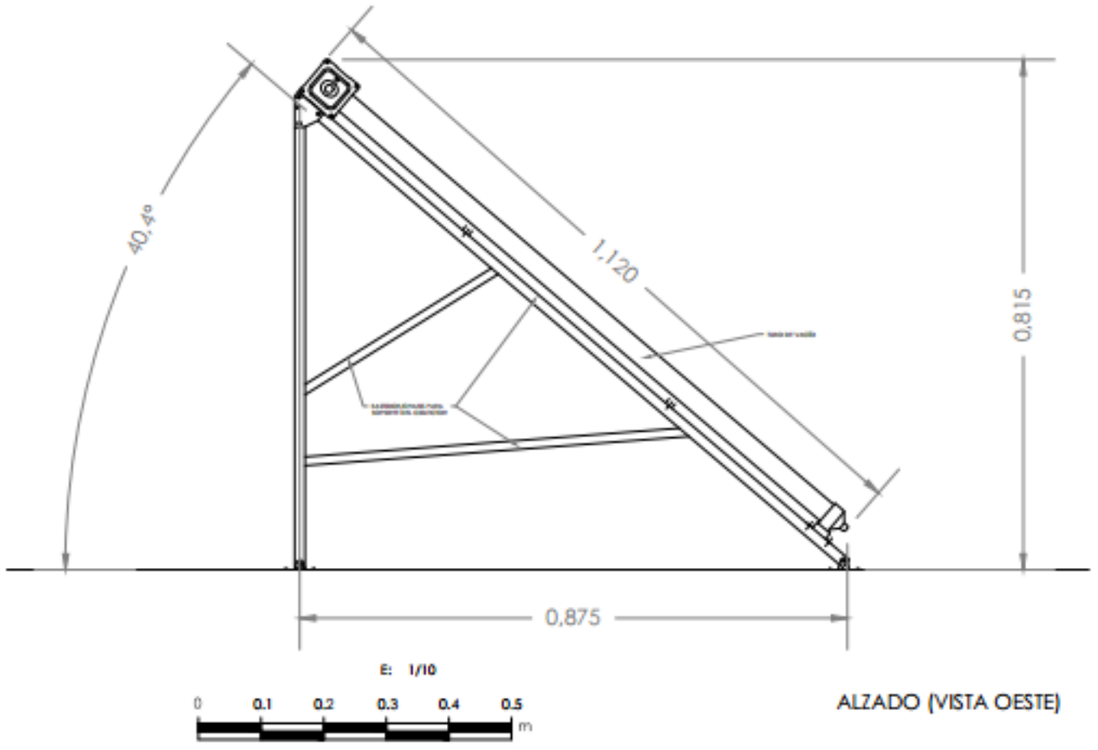
UNE A2 ORIGINAL



ALZADO (VISTA SUR)



ALZADO (VISTA NORTE)



ALZADO (VISTA OESTE)

TÍTULO DEL PROYECTO:
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA ACS
EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV,
en la Calle Dr. Esquerdo, 62 28007 (Madrid)

DENOMINACIÓN DEL PLANO:
DETALLE COLECTOR
ALZADOS

PLANO Nº: 05

HOJA Nº: 01 DE 01

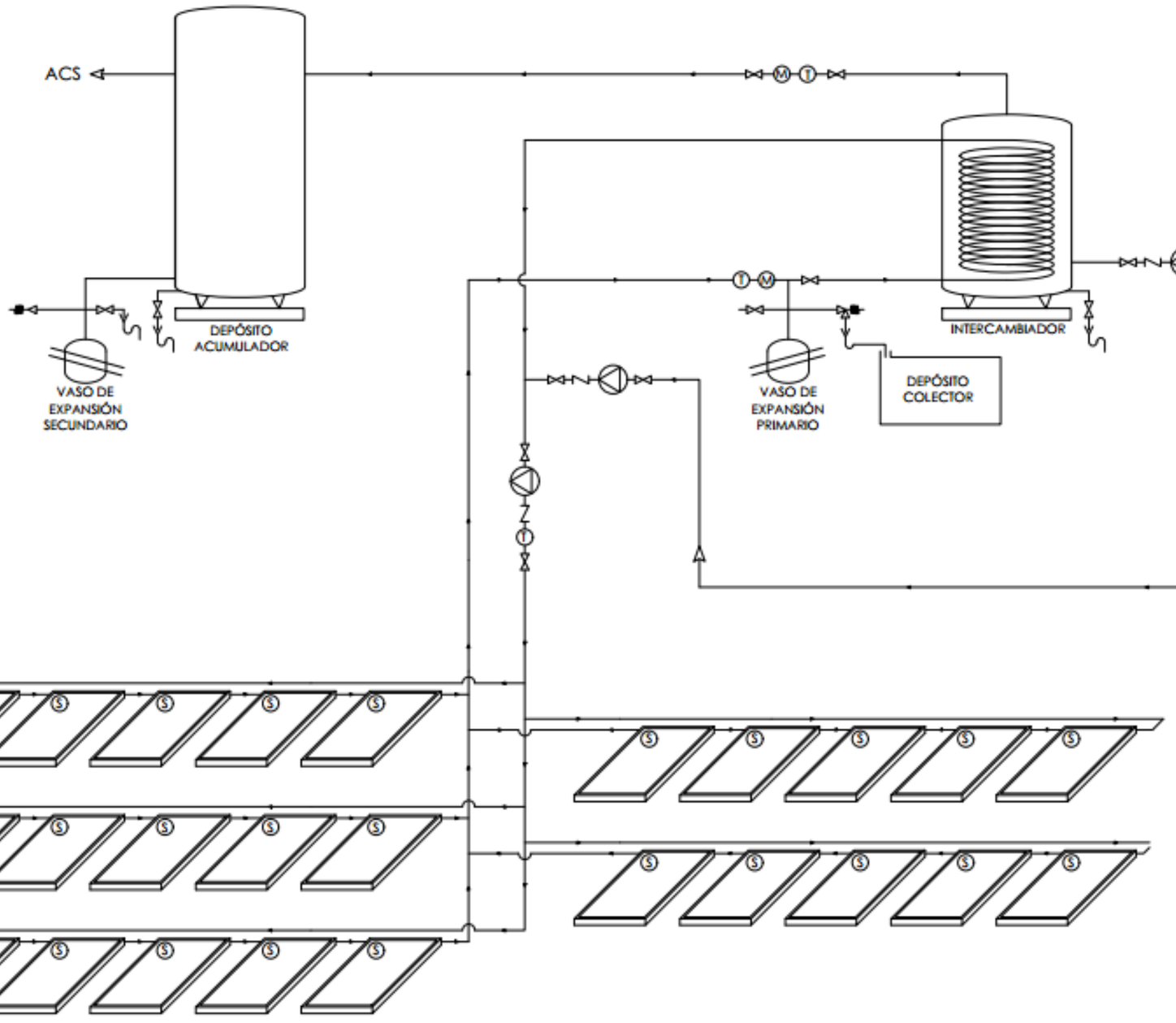
AUTOR DEL PROYECTO:
PEDRO ALONSO DEL YERRO

FECHA: JUNIO - 2018

ESCALA: VARIAS

TUTOR: LUIS JAVIER MATA GARCÍA

UNE A3 ORIGINAL



	VÁLVULA ANTIRRETORNO
	LLAVE DE PASO
	VÁLVULA DE SEGURIDAD
M	MANÓMETRO
T	TERMÓMETRO
	VACIADO CONECTADO A SANEAMIENTO
	VASO DE EXPANSIÓN
	GRUPO DE PRESIÓN
	PUNTO DE CONSUMO
S	SENSOR DE TEMPERATURA DEL COLECTOR
	PANEL SOLAR DE TUBOS DE VACÍO

TÍTULO DEL PROYECTO:
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA ACS EN LOS TÚNELES DE LAVADO DE LA EMPRESA EMOV, en la Calle Dr. Esquerdo, 62 28007 (Madrid)

DENOMINACIÓN DEL PLANO:
ESQUEMA DE INSTALACIÓN

PLANO Nº: 06

HOJA Nº: 01 DE 01

AUTOR DEL PROYECTO:
PEDRO ALONSO DEL YERRO

TUTOR: LUIS JAVIER MATA GARCÍA

FECHA: JUNIO - 2018

ESCALA: S/E

UNE A3 ORIGINAL

11. Bibliografía

- *[1] Esquema instalacion ACS energía solar térmica. Obtenido en: http://suelosolar.com/guiasolares/acs.asp*
- *[2] IDAE(Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)*
- *[3] Zonas climáticas de España. Obtenido en: https://www.efimarket.com/blog/radiacion-solar-en-espana/*
- *[4] Contribución solar mínima en %. Obtenido en: https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/normativa/solar-termica/DB-HE-abril-2009.pdf*
- *[5] Captadores solares AM Tubosol, de Amordad. Obtenido en: http://amordadsolar.com/energia-termica/*
- *[6] Especificaciones técnicas captadores solares AM Tubosol. Obtenido en: http://www.renogalia.com/kits-compactos-termosifonicos/652-am-termosol-300-litros-30-tubos.html*
- *[7] "Producción de agua caliente por medio de energía solar" IDAE*
- *[8] Límite de pérdidas respecto al óptimo. Obtenido en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*
- *[9] Ángulos de inclinación y de acimut. Obtenidos en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura (Anexo V)*

- *[10]Distancia mínima entre filas de captadores. Obtenido en el Pliego de Condiciones Ténicas de Instalaciones Conectadas a Red: documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Instalaciones_Red_09_a3c5aa42.pdf*
- *[11] Instalación circuito primario y circuito secundario. Obtenido en: Instalación ACS (http://inproyect.es/agua-caliente-solar-acs/)*
- *[12] Propilenglicol a diferentes concentraciones. Obtenido en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*
- *[13] Normativa para tuberías según la norma UNE 37153. Obtenido* en la web de *AENOR*
- *[14] Intercambiador IPT600. Obtenido en la web de SUICALSA: http://www.suicalsa.com/*
- *[15] Bomba circuladora ALPHA2 25-50 130, de la marca GRUNDFOS. Obtenido en la web de la empresa: https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?qcid=375729821*
- *[16] Depósito acumulador Corprimo Corflex Primaire de 4000L, de la marca Ygnis. Obtenido en la web de la empresa: http://www.ygnis.es/Productos/Acumuladores-y-ACS/Corprimo-de-500-a-5.000-litros*

- *[17] Normativa a cumplir según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura: file:///C:/Users/Pedro/Desktop/TFG/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_a3c5aa42.pdf*
- *[18] Fórmulas coeficientes de dilatación y coeficiente de presión. Obtenidos por el RITE: http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-edificios*
- *[19] vaso de expansión D 8 CE de la empresa ELBI. Obtenido en la web de la empresa: https://www.vascocatalana.com/Catalogos/Productos/?CAId=16635656*
- *[20] Purgador automático de Caleffi Solar. Obtenido en la web de la empresa: https://www.caleffi.com/international/en-int/catalogue/solar-2*
- *[21] Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión: http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx*
- *[22] Regulador BM Solar, de la marca WOLF: Obtenido en la web de la empresa: https://spain.wolf.eu/productos/regulacion/modulo-de-mando-bm-1/*
- *[23] aislante de coquilla de polietileno de la marca FORCH, obtenido en la web de la empresa: https://www.foerch.es/instalaciones-en-viviendas-y-edificios/foerch-forlen-aislamiento-de-tuberias/coquillas-aislantes-flexibles/coquillas-aislantes-de-pe-flexible-para-tuberias*

- *[24] estudio de riesgo y prevención según la normativa impuesta por FREMAP: http://prevencion.fremap.es/MaterialDivulgativo/Paginas/Manuales.aspx*
- *[25] Reglamentos de Aparatos a Presión según el BOE, num.31, de 5 de febrero de 2009: http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx*
- *[26] Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión: https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-1964*