



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS LCC DE LA INSTALACIÓN DE BOMBEO DEL SISTEMA ACS DE LA RESIDENCIA UNIVERSITARIA DE LA UNIVERSIDAD DE CHUNG- ANG

Autor: Mario Fernández Pedraz

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Junio de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis LCC de la instalación de bombeo del sistema ACS de la residencia universitaria
de la universidad de Chung-Ang.

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2019/20 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.

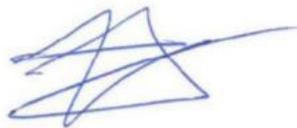
Fdo.: Mario Fernández Pedraz

Fecha: 12/ 07/ 2020



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Íñigo Sanz Fernández Fecha: 13/ 07/ 2020



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS LCC DE LA INSTALACIÓN DE BOMBEO DEL SISTEMA ACS DE LA RESIDENCIA UNIVERSITARIA DE LA UNIVERSIDAD DE CHUNG- ANG

Autor: Mario Fernández Pedraz

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Junio de 2020

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento:

A los profesores Íñigo Sanz Fernández y Luis Manuel Mochón Castro, director y coordinador de este trabajo, por su guía y consejo.

Al profesor Chungwon Cho, de la universidad de Chung-Ang, por su inestimable ayuda y conocimiento de la materia en Corea del Sur, que han hecho posible este trabajo.

A mi familia y a Alejandra, por su apoyo constante a lo largo de este año.

ANÁLISIS LCC DE LA INSTALACIÓN DE BOMBEO DEL SISTEMA ACS DE LA RESIDENCIA UNIVERSITARIA DE LA UNIVERSIDAD DE CHUNG-ANG

Autor: Fernández Pedraz, Mario.

Director: Sanz Fernández, Íñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

La generación y distribución de agua caliente sanitaria en uno de los principales retos que existen en los edificios habitados. Para este propósito una estación de bombeo es indispensable. En este trabajo se intenta mejorar la estación de bombeo de una residencia universitaria usando energías renovables.

Palabras clave: Estación de bombeo, energía solar, paneles solares térmicos.

1. Introducción

La estación de bombeo que es objeto de estudio en este proyecto se encuentra en una residencia universitaria de la universidad de Chung-Ang, en Seúl, Corea del Sur. La obtención de agua caliente se realiza mediante calentadores de gas natural y luego es impulsada mediante bombas hacia las diferentes plantas del edificio. Al ser plana, la azotea del edificio presenta una gran facilidad para instalar colectores solares térmicos que puedan complementar la generación de agua caliente en el edificio.

2. Definición del Proyecto

El proyecto consiste en diseñar y calcular la instalación de colectores solares que va a servir como complemento en la generación de agua caliente en el edificio. Para ello habrá que estudiar qué factores tienen una mayor influencia en el funcionamiento de los colectores solares y conseguir dicha información en la zona geográfica donde se van a instalar. Además, será necesario entender la normativa y distintas regulaciones oficiales que puedan existir para este tipo de instalaciones en Corea del Sur. Además, una vez seleccionados los colectores solares habrá que diseñar y calcular cuáles serán los demás elementos auxiliares (tuberías, bombas, ...) necesarios para conseguir un correcto funcionamiento de la instalación.

Dado que este proyecto tiene un claro énfasis medioambiental se va a intentar, siempre que exista la posibilidad y no haya otras opciones claramente superiores, optar por elementos que sean fácilmente accesibles de manera local

El objetivo final es dar una solución real para conseguir una mayor eficiencia en la producción de agua caliente sanitaria en el edificio estudiado.

3. Desarrollo de la instalación.

El proceso de diseño de la instalación se ha dividido en dos pasos distintos. En el primero de ellos se realizan todos los cálculos y decisiones que tienen que ver con los colectores solares, mientras que en el segundo se diseña el resto de la instalación auxiliar.

El principal parámetro usado para decidir el colector en particular que se va a proponer es la cantidad de energía que puede ser absorbida. Intentar maximizar esta energía es la clave para conseguir que el resultado final sea el más eficiente posible. La cantidad de energía que se puede conseguir depende de varios factores. Los principales son: la radiación solar incidente sobre los paneles, la temperatura exterior, el rendimiento óptico de los colectores, el área total de absorción y la inclinación y orientación de los colectores. Los dos primeros son factores que dependen de la localización geográfica y no pueden ser alterados de ninguna forma. La orientación e inclinación de los paneles es necesario elegirla, existiendo una orientación ideal que maximiza la eficiencia de los paneles. Los demás factores dependen de la fabricación de cada panel individual, pudiendo variar de manera significativa de un modelo a otro. Teniendo en cuenta esto, el procedimiento empleado para la selección del modelo de panel solar más adecuado es el siguiente.

Primero se realiza una búsqueda de las distintas opciones disponibles en el mercado de paneles solares surcoreano. Cada una de las opciones encontradas será comparada con las demás y la que proporcione mayor energía será la elegida.

A continuación, se ha de elegir cómo se orientarán y cuánto se inclinarán los colectores solares.

Por último, para poder calcular la energía aportada por los paneles solares, es necesario comparar el rendimiento, así como el área de absorción disponible que proporciona cada modelo distinto. Como el espacio disponible es limitado es necesario maximizar la cantidad de colectores, y por tanto el área de absorción, que se pueden instalar.

Una vez que se han realizado cada uno de estos pasos se pueden comparar los distintos modelos y elegir aquel que absorba una mayor energía.

Una vez que se ha decidido qué modelo se va a instalar se puede calcular la cantidad de agua caliente sanitaria que se va a conseguir. Gracias al proceso seguido se puede asegurar que esta será la mayor cantidad de agua caliente sanitaria que cualquier modelo pueda proporcionar.

En este momento es necesario diseñar los elementos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento, intentando conseguir la máxima eficiencia posible.

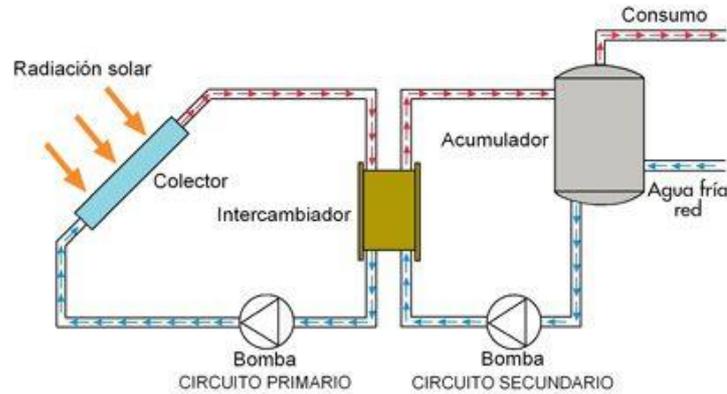


Ilustración 1 Instalación solar completa.

Los elementos auxiliares necesarios son: la bomba de circulación del circuito primario, la bomba de circulación del circuito secundario; este circuito es el encargado de subir el agua hasta la posición de los paneles solares, el intercambiador de calor; necesario para separar el agua caliente sanitaria del circuito primario expuesto a las condiciones superficiales y las tuberías de subida y bajada de agua hasta la azotea del edificio donde está situado el intercambiador. Además, será necesario aislar la tubería de agua caliente para evitar perder el calor conseguido en los paneles solares.

4. Resultados

Una vez seleccionados los paneles solares que van a ser instalados el siguiente paso consiste en calcular la potencia total que van a conseguir. Para lograrlo basta con multiplicar la radiación solar por el área de absorción total disponible y por el rendimiento óptico de los colectores.

Una vez que se tiene ese valor es posible calcular la cantidad de agua que se puede calentar hasta la temperatura adecuada. Este es el resultado más importante, ya que determina el ahorro en combustible y, por tanto, la viabilidad o no del proyecto. Con las características climáticas y geográficas del edificio se ha conseguido un caudal final de agua caliente de 270 litros/hora, que representa un 5% del consumo total de agua caliente en el edificio.

Aunque en un principio parezca que este ahorro es mínimo y de escaso alcance, el elevado precio del combustible hace que el ahorro conseguido produzca beneficios a medio plazo.

En cuanto al consumo de combustible, este es bastante pequeño. En total se consigue una disminución aproximada del 5% en los gases emitidos.

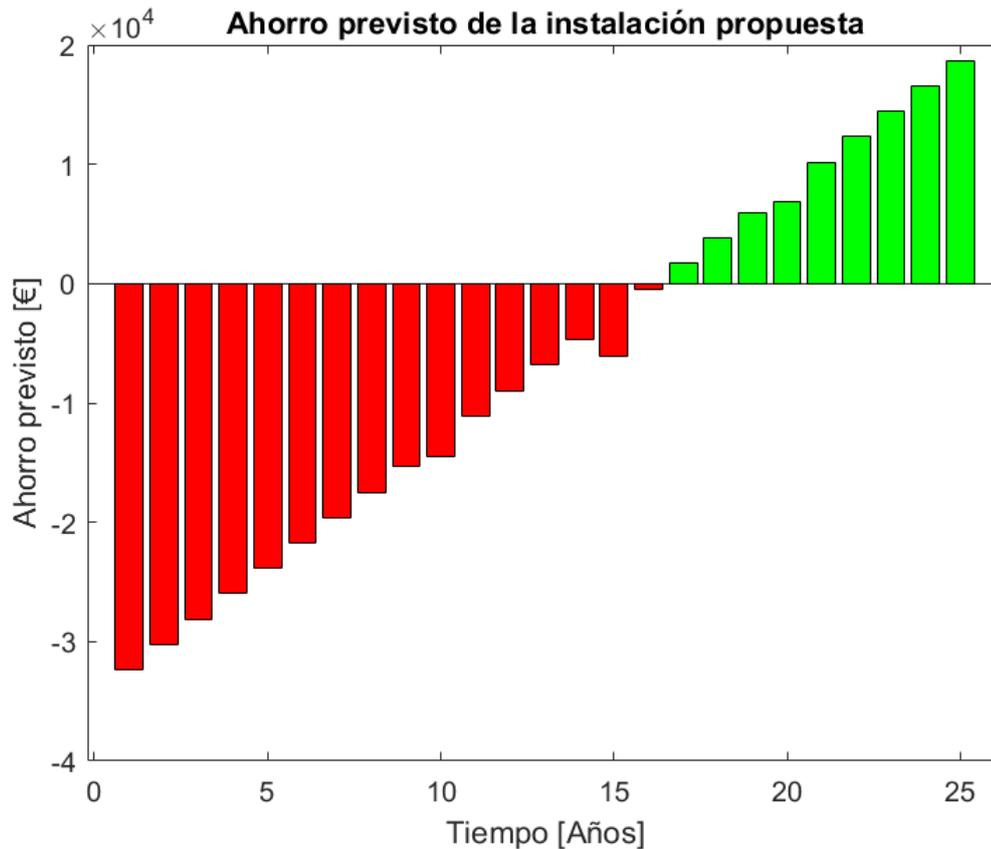


Ilustración 2 Ahorro previsto.

5. Conclusiones

La instalación propuesta cumple con los objetivos iniciales. En primer lugar, consigue disminuir las emisiones de gases contaminantes y económicamente, se trata de un proyecto viable.

Una vez que se han cumplido los objetivos es necesario discutir por qué la mejora ha sido tan escasa. El motivo principal radica en que el factor limitante en este proyecto está en la cantidad de energía que puede ser captada por los paneles solares. Las dos variables que más efecto tienen sobre este factor son: la radiación solar disponible y el área absorbente. Teniendo en cuenta que la principal característica de los edificios altos es su capacidad para alojar a la mayor cantidad posible de personas ocupando el mínimo espacio. Por lo tanto, nos encontramos en una situación donde hay que producir agua caliente para un gran número de personas, pero no se dispone de una amplia superficie para poder colocar los colectores solares. En este tipo de situaciones es clave conseguir el mayor rendimiento posible en cada uno de los elementos del sistema para minimizar las pérdidas de la poca energía que se consigue mediante los paneles.

6. Referencias

[1] Korea Energy Agency, official webpage.

https://www.energy.or.kr/renew_eng/energy/appliances/labeling.aspx

[2] Blog Energía Solar. <https://energiasolarfotovoltaica.org/tipos-de-placas-solares-termicas>

[3] Criado Gonzalez, Ana. *Diseño de una instalación solar térmica multipropósito para un edificio de viviendas en granada* https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7310/PFC_Ana_Criado_Gonzalez.pdf;jsessionid=31298B76B9A234F038DE6672B2E7DC5F?sequence=1

LCC ANALYSIS OF THE ACS PUMPING SYSTEM AT THE UNIVERSITY DORMITORY OF CHUNG-ANG UNIVERSITY

Author: Fernández Pedraz, Mario.

Supervisor: Sanz Fernández, Íñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The generation and distribution of sanitary hot water in one of the main challenges that exist in the inhabited buildings. For this purpose, a pumping station is indispensable. This project attempts to improve the pumping station of a university dormitory building using renewable energy.

Keywords: Pumping station, solar energy, solar thermal panels.

1. Introduction

The pumping station being studied in this project is in the university dormitory at Chung-Ang University in Seoul, South Korea. The hot water is obtained by natural gas heaters and then driven by pumps to the different floors of the building. Being flat, the roof of the building presents great ease to install solar thermal collectors that can complement the generation of hot water in the building.

2. Project definition

The project consists of designing and calculating the installation of solar collectors that will serve as a complement in the generation of hot water in the building. This will require studying which factors have a greater influence on the functioning of solar collectors and obtaining such information in the geographical area where they are to be installed. In addition, it will be necessary to understand the regulations and various official regulations that may exist for this type of facility in South Korea. In addition, once the solar collectors have been selected, it will be necessary to design and calculate which other auxiliary elements (pipes, pumps, etc) will be necessary to achieve a correct functioning of the installation.

Given that this project has a clear environmental emphasis it will be attempted, provided there is the possibility and there are no other clearly superior options, to opt for elements that are easily accessible locally.

The ultimate goal is to provide a real solution to achieve greater efficiency in the production of domestic hot water in the building studied.

3. Development of the installation.

The installation design process has been divided into two distinct steps. In the first, all the calculations and decisions that have to do with the solar collectors are made, while in the second, the rest of the auxiliary installation is designed.

The main parameter used to decide the collector to be proposed is the amount of energy that can be absorbed. Trying to maximize this energy is the key to making the result as efficient as possible. The amount of energy you can get depends on several factors.

The main ones are the solar radiation incident on the panels, the external temperature, the optical performance of the collectors, the total area of absorption and the inclination and orientation of the collectors. The first two are factors that depend on geographical location and cannot be altered in any way. The orientation and inclination of the panels must be chosen, with an ideal orientation that maximizes the efficiency of the panels. The other factors depend on the manufacture of each individual panel and can vary significantly from one model to another. The procedure used for selecting the most suitable solar panel model is as follows.

First a search is made for the different options available in the South Korean solar panel market. Each of the options found will be compared with the others and the one that provides the most energy will be the one chosen. Then you have to choose how the solar collectors will be oriented and how much they will tilt. Finally, in order to calculate the energy provided by the solar panels, it is necessary to compare the performance as well as the available absorption area provided by each different model. As the available space is limited it is necessary to maximize the amount of collectors, and therefore the absorption area, that can be installed. Once you have done each of these steps you can compare the different models and choose the one that absorbs a greater.

Once you have done each of these steps you can compare the different models and choose the one that absorbs the most energy.

Once you have decided which model you are going to install you can calculate the amount of domestic hot water you are going to get. Thanks to the process followed you can ensure that this will be the largest amount of domestic hot water that any model can provide.

At this time it is necessary to design the necessary auxiliary elements for the correct operation, trying to achieve the maximum possible efficiency.

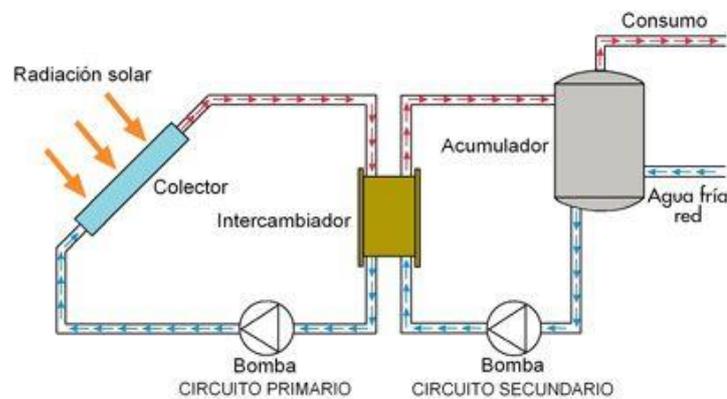


Illustration 1 Complete solar installation.

The necessary auxiliary elements are: the circulation pump of the primary circuit, the circulation pump of the secondary circuit; this circuit is responsible for raising the water

to the position of the solar panels, the heat exchanger; necessary to separate the domestic hot water from the primary circuit exposed to the surface conditions and the plumbing of water up and down to the roof of the building where the heat exchanger is located. In addition, it will be necessary to insulate the hot water pipe to avoid losing the heat obtained in the solar panels.

4. Results.

Once you have selected the solar panels to be installed, the next step is to calculate the total power you will get. To achieve this, it is sufficient to multiply the solar radiation by the total absorption area available and by the optical performance of the collectors. Once you have that value you can calculate the amount of water that can be heated to the right temperature. This is the most important result, as it determines the fuel economy and therefore the viability or otherwise of the project.

With the climatic and geographical characteristics of the building, a final hot water flow of 270 litres/hour has been achieved, representing 5% of the total hot water consumption in the building.

Although initially it appears that this saving is minimal and limited in scope, the high fuel price means that the savings achieved will produce medium-term benefits. In terms of fuel consumption, this is quite small. In total a decrease of approximately 5% in the gases emitted is achieved.

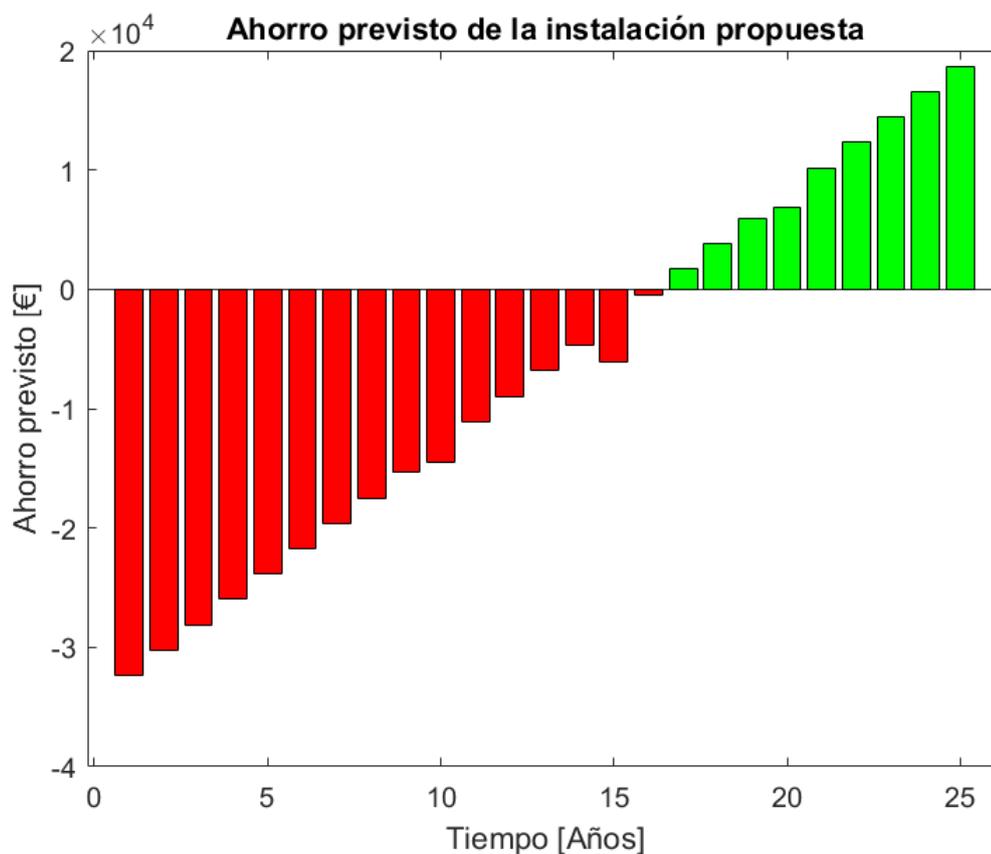


Illustration 2 Expected savings.

5. Conclusions.

The proposed facility meets the initial objectives. Firstly, it manages to reduce emissions of polluting gases and economically, it is a viable project.

Once the targets have been met, it is necessary to discuss why there has been so little improvement. The main reason is that the limiting factor in this project is the amount of energy that can be captured by solar panels. The two variables that have the most effect on this factor are: the available solar radiation and the absorbent area. Considering that the main characteristic of tall buildings is their capacity to accommodate as many people as possible occupying the minimum space. Therefore, we are in a situation where we have to produce hot water for a large number of people, but there is not a large area to be able to place solar collectors. In this type of situation, it is key to achieve the highest possible performance in each of the elements of the system to minimize the losses of the little energy that is achieved through the panels.

6. References.

[1] Korea Energy Agency, official webpage.

https://www.energy.or.kr/renew_eng/energy/appliances/labeling.aspx

[2] Blog Energía Solar. <https://energiasolarfotovoltaica.org/tipos-de-placas-solares-termicas>

[3] Criado Gonzalez, Ana. *Diseño de una instalación solar térmica multipropósito para un edificio de viviendas en granada* https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7310/PFC_Ana_Criado_Gonzalez.pdf;jsessionid=31298B76B9A234F038DE6672B2E7DC5F?sequence=1

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Motivación del proyecto.....	5
1.2 Descripción de la instalación y del edificio.....	6
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	8
2.1 Posibilidades para la obtención de agua caliente sanitaria.....	8
2.1.1 Clasificación de los colectores solares.....	8
2.2 Características del mercado coreano de energía solar.....	10
Capítulo 3. Situación y características del edificio.....	12
3.1 Clima y radiación solar en Seúl.....	12
3.2 Posibilidades de instalación de los colectores.....	13
3.2.1 Orientación e inclinación de los colectores solares.....	15
Capítulo 4. Elección e instalación de los colectores solares.....	18
4.1 Comparación de las distintas posibilidades comerciales.....	18
4.1.1 Rendimiento del colector solar.....	18
4.1.2 Área total disponible	21
4.2 Cálculo de la potencia disponible en la instalación.....	23
4.3 Fluido térmico en los colectores.....	25
4.4 Resumen de la instalación de colectores solares.....	27
Capítulo 5. Sistema térmico.....	29
5.1 Resumen del sistema	29
5.2 Sistema térmico en la azotea	30
5.2.1 Sistema de ecuaciones	30
5.2.2 Parámetros del sistema de ecuaciones.....	30
5.2.3 Resolución del sistema y resultados.....	31
Capítulo 6. Sistema complementario	33
6.1 Tuberías de subida.....	33
6.1.1 Revestimiento aislante en la tubería de bajada.....	34
6.2 Bomba de impulsión de agua.....	37

6.2.1 Velocidad, altura y presión en los puntos de interés.....	37
6.2.2 Pérdidas en la tubería de subida.....	38
6.2.3 Altura manométrica y potencia de la bomba.....	40
6.3 Bomba de circulación del fluido térmico.	40
6.4 Selección de equipamiento.....	41
Capítulo 7. Análisis de resultados y valoración económica del proyecto.....	44
7.1 Rendimiento de la instalación	44
7.2 Ahorro total	45
7.3 Ahorro económico.....	46
Capítulo 8. Impacto medioambiental y alcance de los ODS.....	50
8.1 Disminución en las emisiones de productos derivados de la combustión.....	50
8.2 Implicación del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	51
8.2.1 Impacto en los objetivos individuales.....	53
Capítulo 9. Bibliografía.....	55
ANEXO I. Códigos MATLAB.....	58
ANEXO II. Características técnicas.....	64

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de la instalación actual. Elaboración propia.	7
Figura 2 Ejemplo de sistema de circulación natural [2]	9
Figura 3 Esquema típico de una instalación con sistema de circulación forzada. [3]	10
Figura 4 Mapa de radiación incidente en la península coreana [9].	13
Figura 5 Imagen satélite del edificio. Fuente: NAVER Map.	14
Figura 6 Dimensiones de la azotea. Elaboración propia.	14
Figura 7 Cambio en el ángulo de incidencia solar en el tiempo [18].	16
Figura 8 Curvas de rendimiento de los distintos modelos. Elaboración propia.	20
Figura 9 Separación de los colectores solares. Elaboración propia.	22
Figura 10 Protección frente a la congelación de la mezcla anticongelante [11].	26
Figura 11 Esquema de la instalación. Elaboración propia.	29
Figura 12 Esquema de aislante térmico en una tubería. Elaboración propia.	34
Figura 13 Diagrama de Moody [21].	39
Figura 14 Curva característica de la bomba de subida [28]	42
Figura 15 Curva característica de la bomba de circulación del fluido térmico [28].	43
Figura 16 Energía obtenida y rendimiento. Elaboración propia.	45
Figura 17 Coste de operación de la bomba de subida [28].	46
Figura 18 Coste de operación de la bomba de circulación [28]	47
Figura 19 Ahorro previsto de la instalación propuesta. Elaboración propia.	48
Figura 20 Esquema del desarrollo sostenible [33].	52

Índice de tablas

Tabla 1 Situación geográfica de Seúl [7].	12
Tabla 2 Temperatura media mensual en Seúl [8].	12
Tabla 3 Rango del ángulo de inclinación de los paneles solares. Elaboración propia.	16
Tabla 4 Parámetros de la curva de rendimiento [13][14][15].	19
Tabla 5 Rendimiento de los colectores solares. Elaboración propia.	21
Tabla 6 Comparación de las áreas de cada modelo. Elaboración propia.	23
Tabla 7 Comparación de la potencia disponible según los modelos. Elaboración propia. .	24
Tabla 8 Propiedades de la mezcla de anticongelante [11].	27
Tabla 9 Resumen de la instalación de colectores solares. Elaboración propia.	28
Tabla 10 Resultados del sistema de ecuaciones en el sistema térmico de la azotea. Elaboración propia.	32
Tabla 11 Comparación de costes. Elaboración propia.	48
Tabla 12 Emisiones en la combustión de gas natural [31][32].	50
Tabla 13 Comparación de emisiones. Elaboración propia.	51

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El agua es una de las necesidades básicas del ser humano. Desde la antigüedad asegurar el suministro de agua en las áreas urbanas ha sido uno de los grandes desafíos de los ingenieros. En la sociedad moderna, no solo se espera tener agua corriente disponible en cualquier momento, sino también tener a disposición agua caliente. Desde su uso para la higiene personal, para cocinar o en su uso en electrodomésticos como lavadoras o lavavajillas, cada persona consume aproximadamente 150 litros de agua caliente al día. La producción de agua caliente en tales cantidades presenta más retos todavía, especialmente en zonas donde hay gran cantidad de personas.

De manera tradicional, el agua caliente se ha generado usando calderas que queman algún tipo de combustible para generar el calor necesario. Aunque este método cumple completamente con su objetivo los nuevos desafíos medioambientales, ecológicos y económicos están provocando que estos métodos tradicionales se dejen de lado o se intenten complementar tecnologías más modernas. En el centro de este cambio se encuentra la lucha para disminuir el uso de combustibles fósiles, como el gas natural, uno de los más empleados en este tipo de calderas. Ante este nuevo reto, los ingenieros han recurrido a las energías renovables como la opción más conveniente, y cuando el objetivo último es producir agua caliente hay un tipo de energía renovable que sobresale por encima de todas: la energía solar térmica.

No es algo inusual ver como paneles solares en los tejados y azoteas de los edificios más modernos, pero hay muchos edificios donde todavía no se hace uso de este tipo de energía.

Este proyecto se encuadra en este contexto, un edificio donde hay una gran demanda de agua caliente donde no se hace uso de ningún tipo de energía renovable y se depende exclusivamente de calderas de gas para la generación de agua caliente. El edificio en cuestión

es la residencia universitaria de la universidad de Chung-Ang, situada en Seúl, Corea del Sur. El objetivo final de este proyecto conseguir disminuir la dependencia en los combustibles fósiles a la vez que se persigue conseguir que el ahorro en combustible logrado se traduzca en una disminución general en el coste de la producción de agua caliente.

Para lograr este objetivo se va a diseñar una instalación de paneles solares que para conseguir captar energía solar que será usada para calentar parte del agua caliente demandada por el edificio.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN Y DEL EDIFICIO

A la hora de dimensionar la instalación es imprescindible conocer el número de personas que lo habitan. Además, también es importante saber si hay grandes diferencias entre distintas épocas del año, ya que se trata de una residencia universitaria.

El edificio consta de 11 pisos habitados, en cada piso hay dos secciones distintas, una para cada sexo. Ambas secciones son iguales, con 21 habitaciones simples, para 2 personas y 3 habitaciones dobles, para cuatro personas cada una. Esta disposición suma una capacidad máxima de 1188 personas.

En cuanto a la estacionalidad del aforo en el edificio, se distinguen cuatro temporadas distintas cada año. El curso se divide en dos cuatrimestres, el primero entre marzo y junio y el segundo que se desarrolla entre septiembre y diciembre. Entre ambos cuatrimestres están los periodos vacacionales de dos meses cada uno. En las épocas lectivas la ocupación de la residencia es del 100%, mientras que en los periodos de vacaciones disminuye hasta aproximadamente el 65%. La instalación se va a dimensionar para la ocupación máxima, por lo que en los meses de vacaciones el ahorro será mayor.

Otro dato necesario es la altura total del edificio. Desde la sala de calderas, situada en la planta baja hasta la azotea donde se instalarán los paneles hay una altura de 36 metros. Este dato es necesario saberlo ya que el agua habrá que subirla hasta la azotea para poder aprovechar la energía captada por los paneles.

La instalación actual en la sala de bombas de la residencia es bastante simple. Se ha dividido el edificio en dos secciones, una para los pisos inferiores y otra para los superiores. Cada sección consiste en un depósito, una caldera de gas y una bomba de impulsión. En la siguiente figura se puede ver un esquema de la instalación y cómo la instalación propuesta interactuará con ella.

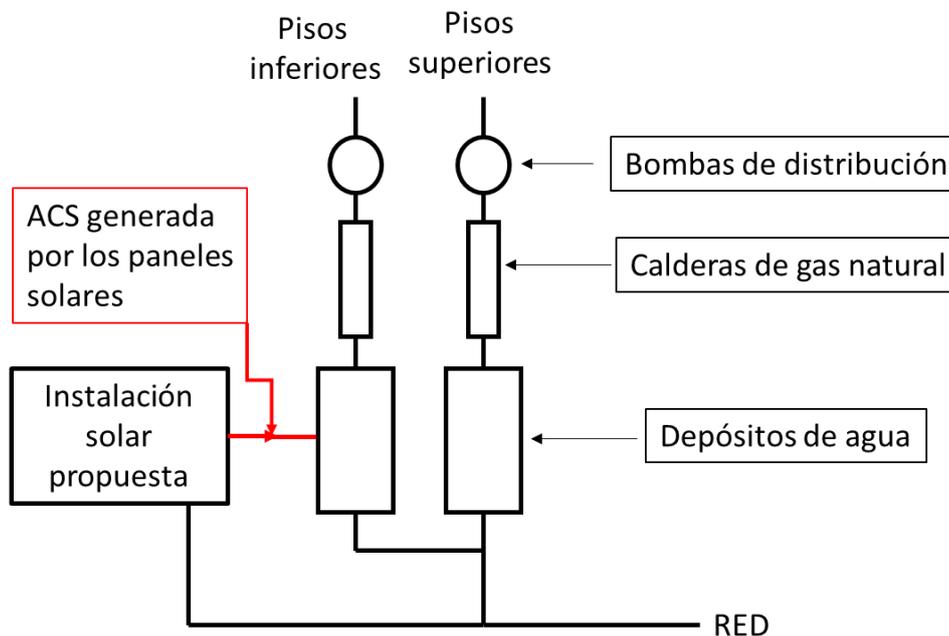


Figura 1 Esquema de la instalación actual. Elaboración propia.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

2.1 POSIBILIDADES PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

A la hora de conseguir agua caliente sanitaria (ACS) usando la energía solar el componente clave es el colector solar, llamado de manera más coloquial como panel solar. En el mercado se puede encontrar una gran variedad de colectores, con muchos modelos distintos disponibles. La elección de un modelo u otro determinará el rendimiento final de la instalación, la facilidad con la que se podrá instalar y la necesidad o no de incluir elementos adicionales. A continuación, se presenta un resumen de los distintos tipos de colectores solares y sus características más importantes.

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES.

De forma general, se puede decir que todos los colectores solares funcionan de la misma manera. Una placa fabricada con un material absorbente de radiación solar se orienta de manera directa al Sol, calentándose. Por esa placa se puede hacer pasar un fluido que, como consecuencia de alta temperatura de la placa, se calentará. Aunque este proceso puede parecer sencillo hay muchos factores a tener en cuenta, lo que provoca la aparición de los distintos tipos de colectores.

2.1.1.1 Sistema de circulación natural

El sistema más simple de todos. El agua cuando pasa por el material absorbente y se calienta. Al calentarse el agua sube hasta un depósito de captación situado en encima del panel. Cuando el agua se enfría vuelve a bajar al fondo del colector y el proceso se repite. El ACS se puede recoger directamente del depósito.



Figura 2 Ejemplo de sistema de circulación natural [2]

Las principales ventajas de estos sistemas son: la facilidad de la instalación, el poco coste de esta y la ausencia de máquinas auxiliares necesarias para su funcionamiento. Sin embargo, este tipo de instalación tiene menos capacidad de producción de ACS, ya que está limitada por la capacidad del depósito. Además, son muy vulnerables a las condiciones climatológicas extremas, principalmente a las heladas, lo que limita sus posibles usos.

2.1.1.2 Sistema de circulación forzada.

La principal característica de estos sistemas es que el fluido que circula por los paneles es impulsado de manera externa, normalmente mediante una bomba. Otra diferencia respecto al modelo anterior es la ausencia de depósito en cada colector, en su lugar todo el fluido se acumula en un tanque. En la práctica, con este modelo el líquido que circula por los colectores no es agua, sino otro tipo de fluido térmico y el tanque de almacenamiento se sustituye por un intercambiador de calor, donde el fluido térmico da su calor al agua. Obviamente este tipo de paneles conlleva una instalación mucho más compleja, pero a cambio es mucho más flexible y presenta varias ventajas respecto a los sistemas de circulación natural. La primera ventaja es que una instalación de este tipo de colectores tiene mucha más capacidad para calentar agua. Otra gran ventaja es que estos sistemas no se ven tan influenciados por las condiciones climáticas externas, ya que el tanque se puede situar en un espacio protegido. Otra cosa a tener en cuenta es que estos sistemas son más estéticos que los anteriores, al no tener un depósito voluminoso visible encima de cada colector y la

posibilidad de ocultar el tanque. Es algo a tener en cuenta si el acabado estético es importante en el proyecto final. Las desventajas de este tipo de sistemas son su mayor complejidad y la necesidad de usar equipos auxiliares para que pueda funcionar.

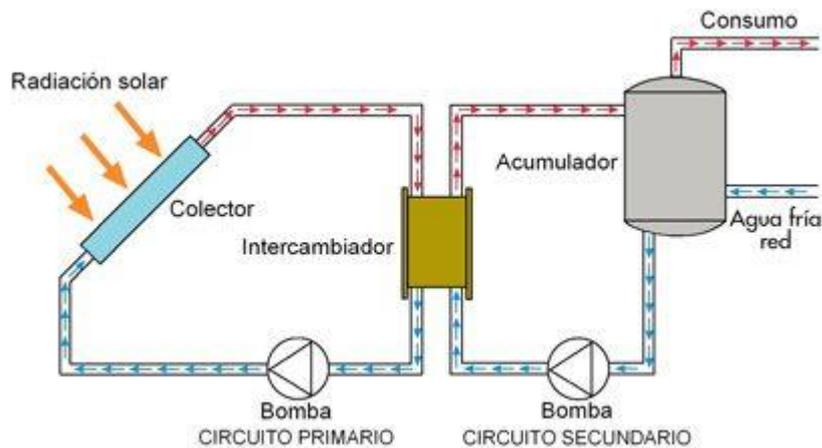


Figura 3 Esquema típico de una instalación con sistema de circulación forzada. [3]

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO COREANO DE ENERGÍA SOLAR.

En la actualidad la política energética del gobierno de Corea del Sur está haciendo mucho énfasis en abandonar las fuentes de energía tradicionales y aumentar el porcentaje de energía que consigue mediante el uso de renovables. El compromiso del gobierno es conseguir que el 35% de la energía sea generada por fuentes renovables en 2040 [4]. Para conseguir este objetivo la energía solar juega un papel clave en la estrategia surcoreana. Es importante recordar en este momento que para generar electricidad se puede recurrir también a la energía solar fotovoltaica, que consigue transformar la energía solar en electricidad directamente, y es en esta tecnología en la que el gobierno de Seúl está centrando todos sus esfuerzos. Megaproyectos como la planta solar flotante en el lago Saemangeun, la más grande del mundo se construya [6] o propuestas más innovadoras como un sistema de alquiler de placas fotovoltaicas iniciado por la Korea Energy Agency (KEA) [5] ha provocado que los grandes conglomerados (chaebol, como son llamados en Corea) hayan dejado de lado la energía solar

térmica. Esto provoca que encontrar paneles solares térmicos en Corea sea bastante complicado. De hecho, las mayores empresas surcoreanas como LG Electronics o Hyundai Heavy Industries se dedican exclusivamente a la producción de paneles solares fotovoltaicos. Para encontrar colectores solares hay que acudir a pequeñas empresas o a empresas de fuera del país, principalmente chinas y europeas, que aprovechan esta situación para ocupar la mayor parte de la demanda de Corea.

La mayoría de los instaladores coreanos compran los paneles solares a empresas extranjeras. Las más comunes son: la empresa austriaca GREENoneTEC y la alemana linuo-ritter-international. Aun así es posible encontrar fabricantes locales. Como la empresa Kangnam [13], con sede en Seúl, y uno de los fabricantes locales más valorados.

Capítulo 3. SITUACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO.

Como se ha explicado en el Capítulo 2. es importante conocer las características climáticas en la localización del edificio. Los datos más importantes son: la temperatura media ambiental, las temperaturas más extremas que se pueden encontrar y la cantidad de radiación solar que hay. Otro factor que juega un papel clave es la cantidad de superficie que hay disponible para colocar los paneles solares.

3.1 CLIMA Y RADIACIÓN SOLAR EN SEÚL.

Situación geográfica:

LATITUD	LONGITUD	ALTURA
37,53° N	127,02° E	38 m

Tabla 1 Situación geográfica de Seúl [7].

Temperatura media en grados centígrados:

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dic	Media
-3,7	-0,8	4,7	11,7	17,5	21,8	25,1	25,9	20,6	13,8	6,5	-0,3	11,9

Tabla 2 Temperatura media mensual en Seúl [8].

De la agencia meteorológica nacional [8] también se puede obtener el dato de la temperatura mínima histórica, que es de -32,6 °C, alcanzados el 5 de enero de 1981.

Los datos sobre la radiación solar que llega están recogidos por Korea Institute of Energy Research (KIER).

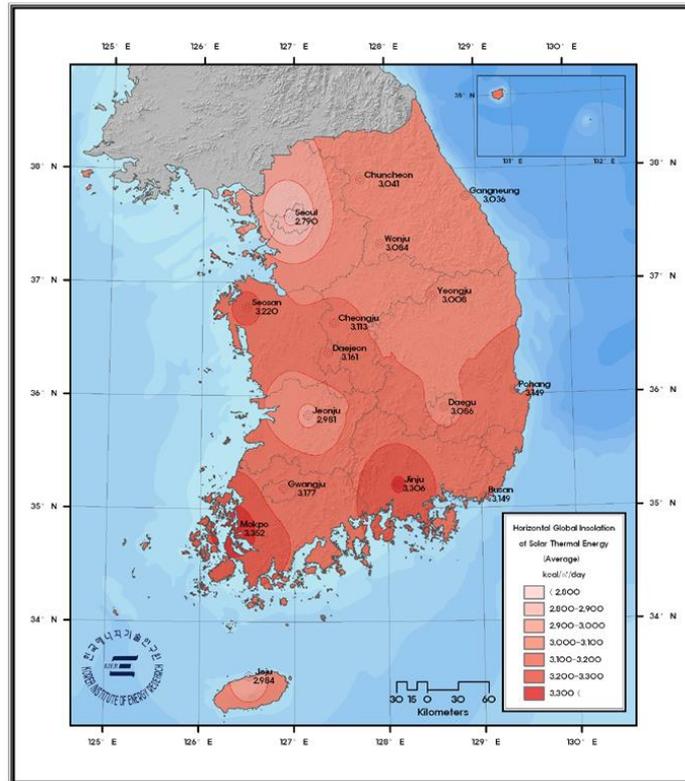


Figura 4 Mapa de radiación incidente en la península coreana [9].

Como se puede leer la radiación en un día medio es de 2790 kcal/m^2 .

3.2 POSIBILIDADES DE INSTALACIÓN DE LOS COLECTORES.

Para conseguir una instalación con un buen rendimiento es indispensable ocupar la mayor cantidad posible de superficie con colectores solares. En una primera vista a la azotea del edificio, la imagen satélite se consigue gracias a Naver (<https://m.map.naver.com/>), se puede ver que hay una superficie amplia y horizontal perfecta para la instalación de paneles solares.



Figura 5 Imagen satélite del edificio. Fuente: NAVER Map.

En la siguiente figura se detallan las dimensiones de la azotea.

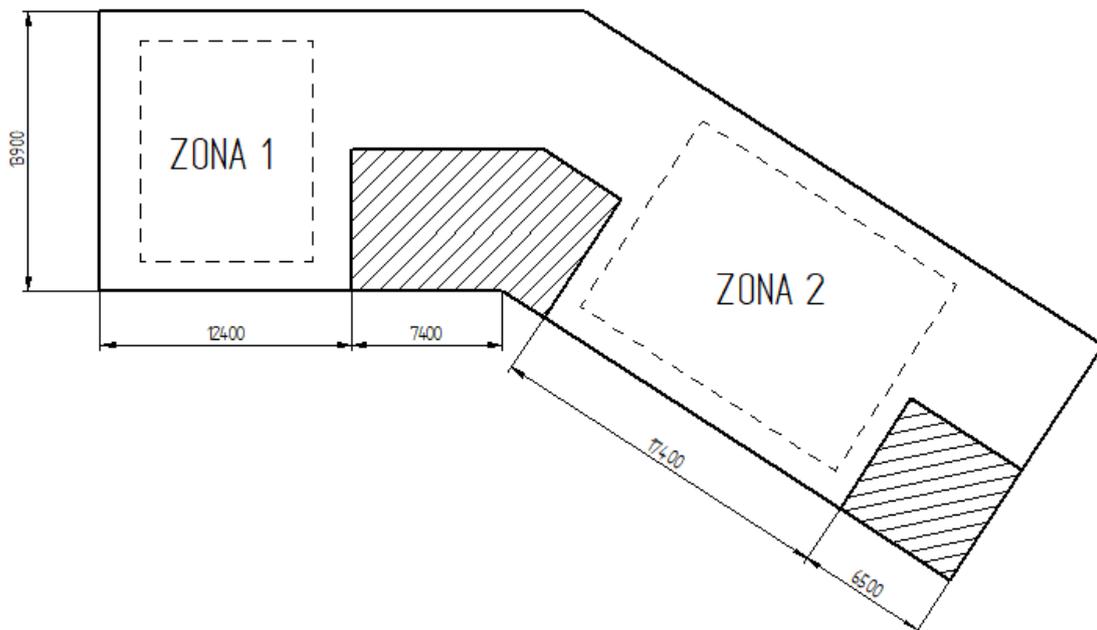


Figura 6 Dimensiones de la azotea. Elaboración propia.

Las dimensiones de las zonas donde se instalarán los colectores se detallan en el Capítulo 4.

3.2.1 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES.

Para que los paneles sean lo más eficientes posibles hay que orientarlos en la dirección que más radiación reciban. En el hemisferio Norte, esto se consigue orientándolos en dirección Sur. La eficiencia de los paneles llega a disminuir hasta un 30% cuando los paneles están orientados en dirección Este u Oeste. Como se ha visto en el apartado 3.2 hay dos zonas donde se pueden instalar los paneles. En la zona 1 estarán orientados perfectamente en dirección Sur mientras que en la zona 2 estarán ligeramente desviados.

3.2.1.1 Factor de corrección por desvío.

Como se acaba de comentar los paneles solares no podrán captar toda la radiación si no están completamente orientados en dirección Sur. Se sabe que las pérdidas son aproximadamente de un 30% cuando el desvío es de 90°. Sabiendo que el desvío de los paneles de la zona dos es de 33° una simple regla de tres es suficiente para saber las pérdidas que habrá en los colectores de la zona 2, resultando unas pérdidas del 11%.

El factor de corrección (f), que será usado en el punto 4.2 es:

$$f = 1 - \frac{\% \text{ de pérdidas}}{100}$$

Obteniendo un factor $f = 0,89$.

3.2.1.2 Inclinación de los colectores.

Los colectores tendrán la máxima eficiencia cuando su inclinación los haga estar de manera perpendicular a la radiación solar.

El cálculo del ángulo con el que la radiación solar llega a La Tierra es muy simple de calcular:

$$\text{Ángulo solar} = 90^\circ - (\text{Latitud} - \text{Inclinación terrestre})$$

La latitud de Seúl, que se recoge en la Tabla 1, es de 27,53°. La única variable es la inclinación terrestre, que varía entre $\pm 23^\circ$.

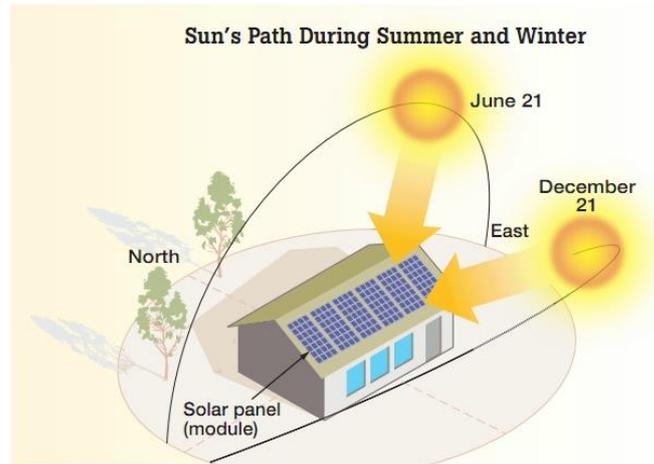


Figura 7 Cambio en el ángulo de incidencia solar en el tiempo [18].

Se puede calcular el ángulo en los dos momentos extremos, solsticio de verano e invierno para tener el rango del ángulo. Una vez que se ha calculado ese ángulo el ángulo de inclinación del panel solar se puede conseguir sabiendo que el ángulo que forma el panel con el suelo y el ángulo solar son complementarios. Aplicando la ecuación para el ángulo solar y la propiedad de ángulos complementarios se obtienen los siguientes resultados:

Época del año	Ángulo solar	Inclinación del panel
Solsticio de verano	75,5°	14,5°
Solsticio de invierno	29,5°	60,5°

Tabla 3 Rango del ángulo de inclinación de los paneles solares. Elaboración propia.

Una opción que se podría barajar sería de la de colocar los colectores en una estructura que permita cambiar su inclinación a lo largo del año, pero esa propuesta conlleva gastos de instalación y mantenimiento muy elevados. Por lo que es mejor elegir una inclinación permanente para los paneles. La recomendación general de las empresas del sector es colocarlos en una posición intermedia a las dos extremas. En este caso, esto supondría

inclinan los paneles 37,5 grados. Esta inclinación supone que el pico de eficiencia se conseguiría en los equinoccios, que, como se comentó en el Capítulo 1.

Capítulo 4. ELECCIÓN E INSTALACIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES.

4.1 COMPARACIÓN DE LAS DISTINTAS POSIBILIDADES COMERCIALES.

Como se comentó en el Capítulo 2. se han encontrado tres opciones distintas. A la hora de elegir cuál se instalará hay que saber que rendimiento va a ofrecer cada una de las marcas.

4.1.1 RENDIMIENTO DEL COLECTOR SOLAR.

En el Capítulo 2. se hace hincapié en que un colector solar absorbe radiación solar en forma de calor. El funcionamiento ideal sería una transmisión de toda la energía almacenada al fluido circulante. Pero pérdidas con el exterior por radiación y convección, pérdidas al intercambiar calor con el fluido e incapacidad para absorber toda la radiación solar entrante provocan que de toda la energía disponible solo una fracción de ella llegue al fluido que circula por el colector.

4.1.1.1 Ecuación del rendimiento.

Los fabricantes incluyen en sus catálogos la curva de rendimiento de sus paneles solares. Esta curva tiene la siguiente forma:

$$\mu = \mu_0 - \frac{a_1(T_m - T_a)}{G} - \frac{a_2(T_m - T_a)^2}{G}$$

Donde:

- μ : es el rendimiento final.
- μ_0 : es el rendimiento óptico. Dato del fabricante. [-]
- a_1 : coeficiente experimental. Dato del fabricante. [m^2/WK]
- a_2 : coeficiente experimental. Dato del fabricante. [m^2/WK^2]
- T_m : Temperatura del fluido térmico. [K]
- T_a : Temperatura ambiental. [K]
- G : Irradiancia. [W/m^2]

En muchas ocasiones el término $(T_m - T_a)$ se puede encontrar como ΔT .

El dato de irradiancia, que se obtiene en la Figura 4, está en unas unidades distintas a las necesarias. La conversión de unidades se realiza con la siguiente ecuación:

$$2790 \frac{kcal}{día * m^2} * \frac{4187 J}{1 kcal} * \frac{1 día}{24 * 3600 s} = 135,205 \frac{W}{m^2}$$

Los parámetros de los fabricantes están recogidos en la siguiente tabla. La empresa GREENoneTEC (GoT) tiene disponibles dos modelos, uno con cristal simple (single) y otro con doble cristal (double).

	Kangnam	GoT. Single.	GoT. Double.	Linuo-ritter
μ_0 [-]	0,723	0,857	0,814	0,780
a_1 [m^2/WK]	4,139	3,083	2,102	3,611
a_2 [m^2/WK^2]	0,0087	0,013	0,016	0,011

Tabla 4 Parámetros de la curva de rendimiento [13][14][15].

4.1.1.2 Curvas de rendimiento.

Con toda la información disponible se pueden comparar los distintos modelos para comprobar cuál tendrá el máximo rendimiento.

Para hacer la comparación se han dibujado las cuatro curvas distintas con el rendimiento como función de ΔT con el software MATLAB.

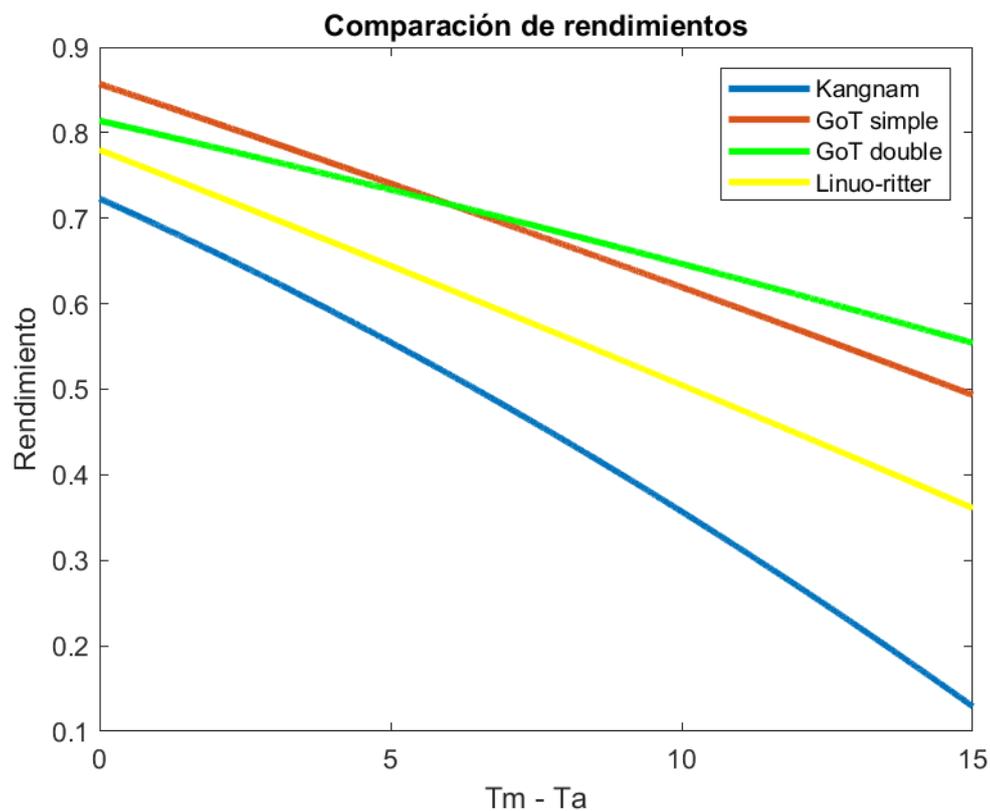


Figura 8 Curvas de rendimiento de los distintos modelos. Elaboración propia.

Los fabricantes indican una temperatura del colector aproximada de 30°C. Con los datos de temperatura en Seúl, recogidos en la Tabla 2, se puede saber el rendimiento medio de los paneles solares aplicando directamente la ecuación de rendimiento para cada modelo.

Modelo	Rendimiento
Kangnam	0,03
GREENoneTEC single	0,41
GREENoneTEC double	0,49
Linuo-ritter	0,27

Tabla 5 Rendimiento de los colectores solares. Elaboración propia.

Estos datos se usarán en el apartado 4.2 para el cálculo final de potencia obtenida. Para los paneles GREENoneTEC se va a usar el modelo de doble cristal.

4.1.2 ÁREA TOTAL DISPONIBLE

Otro factor clave a la hora de elegir qué marca de panel solar se va a instalar es saber cuánta área se puede cubrir dependiendo del modelo. Como ya se ha visto en el Capítulo 3. El espacio disponible es limitado, por lo tanto, es imprescindible aprovecharlo al máximo. El principal factor limitante es la distancia de separación que hay que dejar entre cada fila de paneles. Esta distancia se debe a la sombra que proyecta cada colector en el colector que tiene detrás.

Este concepto se explica en la siguiente imagen:

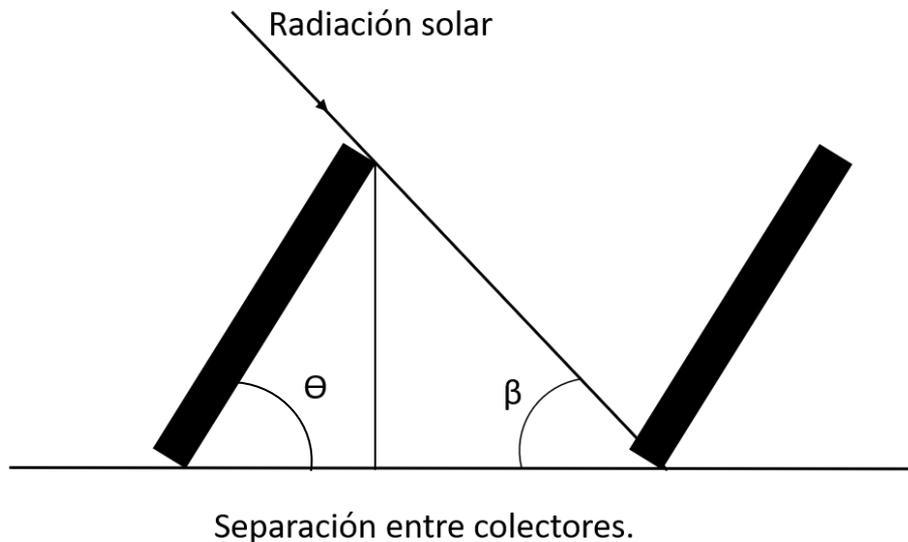


Figura 9 Separación de los colectores solares. Elaboración propia.

Donde:

- Ángulo Θ : Inclinación del colector solar.
- Ángulo β : Dirección de la radiación solar.

Elección de ángulos para el cálculo:

- Ángulo Θ : Aunque en el Capítulo 3. se llega a la conclusión de que el ángulo idóneo es de $37,5^\circ$ los fabricantes no ofrecen soportes con ese ángulo. Dentro de la gama de los disponibles se ha optado por una inclinación de 45° , la que más se aproxima a la idónea.
- Ángulo β : Se va a elegir el ángulo con el que llega la radiación solar en el momento más desfavorable. Como ya se calculó en la Tabla 3 este ángulo es de 30° .

Una vez que se ha calculado la separación necesaria se puede calcular el número de colectores que se pueden instalar en las zonas disponibles. Una vez calculado el número de paneles, el área total absorbente se puede obtener con una simple multiplicación.

Todo el cálculo se ha realizado con el software MATLAB, el código se adjunta en el ANEXO I y los resultados se presentan a continuación.

Unidades en m ²		Kangnam	GREENoneTEC	Linuo-ritter
Horizontal	Zona 1	37.5320	44.4600	36.8000
	Zona 2	65.6810	66.6900	64.4000
Vertical	Zona 1	37.5320	59.2800	40.4800
	Zona 2	75.0640	59.2800	80.9600

Tabla 6 Comparación de las áreas de cada modelo. Elaboración propia.

Como todos los proveedores lo permiten, se han tenido en cuenta las dos configuraciones distintas en las que se puede colocar cada panel. Es necesario mantener la separación entre ambas zonas ya que en la zona 2 los paneles no estarán orientados directamente en la dirección Norte-Sur, por lo que será necesario ajustar su contribución energética adecuadamente.

Tanto para los paneles Kangnam como para los Linuo-ritter se puede descartar la instalación en horizontal, ya que instalándolos de forma vertical se consigue tener más superficie absorbente que si se instalan de manera horizontal. Con los paneles GREENoneTEC no se puede tomar una decisión tan rápidamente y será necesario comparar ambas configuraciones teniendo en cuenta la menor eficiencia que se tiene en la zona 2.

4.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DISPONIBLE EN LA INSTALACIÓN

Una vez que se han calculado todos los parámetros necesarios se puede calcular la potencia que proporcionará cada modelo de colector. La ecuación es la siguiente:

$$Q = G * A_T * \mu * f$$

Donde:

- Q: es la potencia absorbida.
- G: es la irradiancia solar.
- A_T: Área total de colectores.
- μ: es el rendimiento del colector.
- f: es el factor de corrección por desvío.

La expresión general se puede adaptar para esta instalación particular de la siguiente manera:

$$Q_i = G * A_1 * \mu_i + G * A_2 * \mu_i * f$$

Los cálculos se han realizado en una hoja de cálculo EXCEL y se muestran en la siguiente tabla:

	Rendimiento	Área Zona 1	Área Zona 2	Q Zona 1	Q Zona 2	Q total
Kangnam	0,030	37,532	75,064	152,24	270,98	423,21
GoT vertical	0,490	59,280	59,280	3927,33	3495,32	7422,65
GoT horizontal	0,490	44,460	66,690	2945,50	3932,24	6877,73
Linuo- ritter	0,270	40,480	80,960	1477,74	2630,37	4108,11

Tabla 7 Comparación de la potencia disponible según los modelos. Elaboración propia.

Viendo estos resultados, la opción más adecuada son los colectores GREENoneTEC con doble cristal instalándolos de manera vertical.

4.3 FLUIDO TÉRMICO EN LOS COLECTORES.

La función del fluido térmico que circula por los colectores es recoger la energía captada por estos y poder llevarla a donde sea necesaria. A la hora de elegir qué fluido se va a emplear hay que tener en cuenta a qué condiciones va a estar expuesto dicho fluido. La principal limitación existente es la temperatura exterior a la que va a estar expuesto el líquido. Principalmente, hay que evitar que el fluido pueda llegar a congelarse.

En esta instalación en particular, como se menciona en el Capítulo 3. en varios meses del año las temperaturas bajan de los 0°C, con una mínima histórica de -32°C. Esto hace que usar agua como líquido circulante, siendo necesario el uso de una mezcla de agua y anticongelante. Como esta situación es bastante común los fabricantes de paneles recomiendan el uso de polipropenenglicol mezclado con agua como fluido circulante.

El polipropenenglicol (nombre sistemático IUPAC: propano-1,2-diol) es un alcohol cuyo bajo punto de congelación, facilidad de para mezclarse con agua y su escasa reactividad y toxicidad hacen que sea uno de los anticongelantes más usados. Este uso tan extendido hace que las propiedades de su mezcla con agua estén fácilmente disponibles.

Se ha usado la información provista por la empresa Carpemar [11] para elegir el porcentaje de propenenglicol en la mezcla, así como sus propiedades.

En la siguiente figura se presenta la protección frente a la congelación que ofrece la mezcla frente a la concentración, en este caso en volumen, de polipropenenglicol de la mezcla con agua.

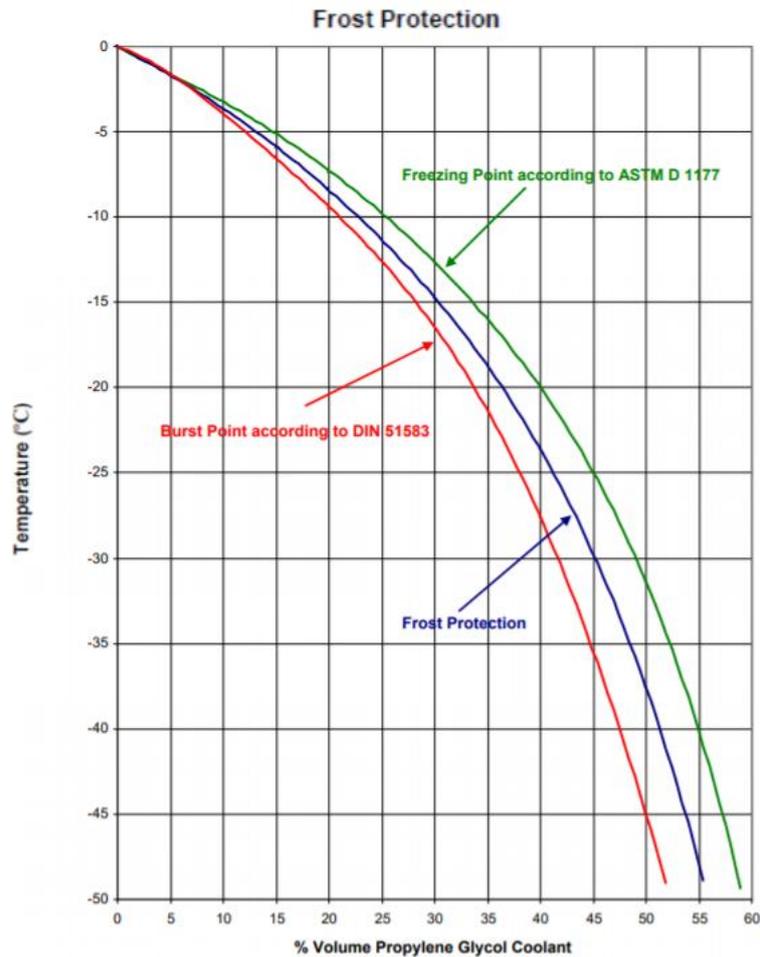


Figura 10 Protección frente a la congelación de la mezcla anticongelante [11].

La línea verde presenta la formación del primer cristal, mientras que la roja representa el punto de fallo por congelación. La línea azul es la recomendación del productor.

Para una protección adecuada frente a la congelación y teniendo en cuenta cual ha sido la temperatura más extrema en la zona se va a optar por una mezcla con un porcentaje en volumen del 45%. Con esta mezcla se obtendrá una gran protección frente a las temperaturas habituales y se asegura que la instalación aguantará si se dan temperaturas similares a las más extremas.

Una vez que se sabe el porcentaje de anticongelante en la mezcla el resto de las propiedades físicas del fluido se pueden calcular. El mismo productor ofrece gráficas donde estas propiedades se pueden leer en función del porcentaje de la mezcla.

Estas tablas no se muestran en este documento con el objetivo de no recargarlo en exceso con gráficas que aportan poco al tema principal. Se pueden consultar mediante el siguiente enlace: https://carpemar.com/images/pdf/FT/PGC_NSF/FT_PGC_NSF_EN.pdf

Las propiedades físicas se resumen en la siguiente tabla:

Propiedades de la mezcla agua-polipropenenglicol con porcentaje en volumen de 45%.

Temperatura = 30°C

Densidad [kg/m ³]	1.023
Calor específico [kJ/kg K]	4,75
Conductividad térmica [W/m K]	0,420
Viscosidad dinámica [mPa s]	3,00
Viscosidad cinemática [mm ² /s]	5,7
Número de Prandtl [-]	12

Tabla 8 Propiedades de la mezcla de anticongelante [11].

4.4 RESUMEN DE LA INSTALACIÓN DE COLECTORES SOLARES.

Con todos los cálculos de este capítulo se tiene ya toda la información sobre la instalación de paneles solares en la azotea del edificio.

Modelo de colector	GREENoneTEC doble cristal
Número de paneles en Zona 1	8 instalación vertical
Número de paneles en Zona 2	8 instalación vertical
Tipo de fluido térmico	Mezcla de agua/polipropenenglicol al 45% en volumen.

Tabla 9 Resumen de la instalación de colectores solares. Elaboración propia.

Capítulo 5. SISTEMA TÉRMICO

5.1 RESUMEN DEL SISTEMA

Una vez que se ha calculado la energía máxima que se obtiene de los paneles solares se puede calcular la cantidad de agua que se puede calentar, además, es necesario saber y parametrizar el resto de elementos necesarios para lograr un correcto funcionamiento del sistema.

Para conseguir este intercambio de energía entre el fluido térmico y el agua es necesario un sistema complejo y con varios elementos que permita el movimiento de agua y de fluido térmico y el intercambio de calor entre ellos.

El sistema planteado es muy similar a un sistema genérico para este tipo de instalaciones, como el que se puede ver en la Figura 3, con ligeras variaciones para poder acoplarlo con la instalación ya presente.

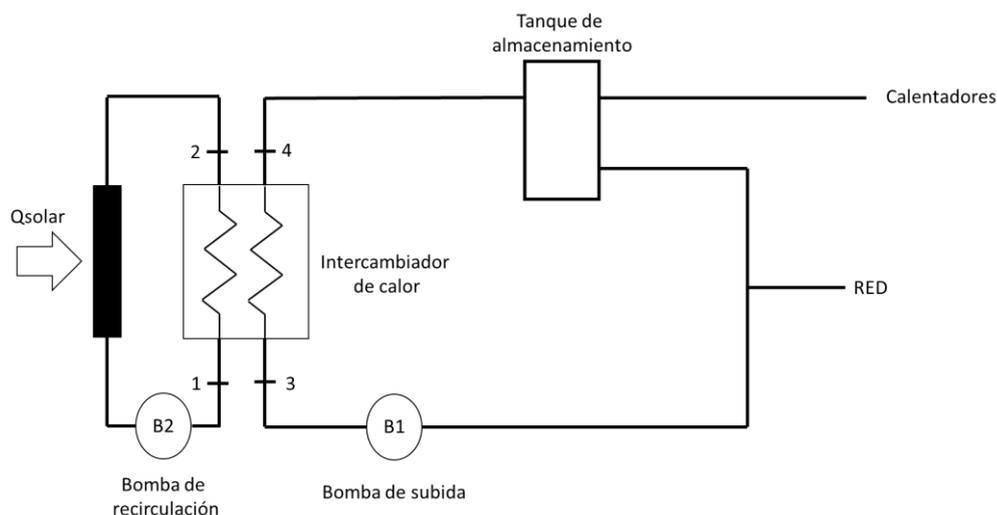


Figura 11 Esquema de la instalación. Elaboración propia.

5.2 SISTEMA TÉRMICO EN LA AZOTEA

El primer objetivo es conseguir la transferencia de la energía solar al agua caliente sanitaria. De este primer cálculo el resultado más importante es la cantidad total de agua que se puede calentar.

5.2.1 SISTEMA DE ECUACIONES

Las ecuaciones que rigen el comportamiento en esta sección del sistema son las siguientes:

$$Q_{solar} = \dot{m}_{ft} C_{e_{ft}} (T_2 - T_1)$$

Esta ecuación muestra la energía que el conjunto de paneles solares aporta al fluido térmico.

$$\dot{m}_{ft} C_{e_{ft}} (T_2 - T_1) = \dot{m}_a C_{e_a} (T_4 - T_3)$$

La segunda ecuación modela el intercambio de energía que se produce en intercambiador de calor entre el agua y el fluido térmico.

$$\varepsilon = \frac{T_4 - T_3}{T_2 - T_3}$$

La última ecuación muestra la eficiencia que se puede llegar a alcanzar en el intercambiador de calor.

Para las ecuaciones de transmisión de calor y del intercambiador se ha usado como referencia el libro *Yunus A. Çengel; Afshin J. Ghajar. Transferencia de calor y masa. Mc Graw Hill.*

5.2.2 PARÁMETROS DEL SISTEMA DE ECUACIONES

A continuación, se discuten todos los parámetros del sistema:

- Q_{solar} : Potencia total aportada por los colectores solares. Su valor se calculó en el apartado 4.2 y su valor se muestra en la Tabla 7, siendo este 7422,65 W.

- \dot{m}_{ft} : Gasto másico del fluido térmico en los colectores. El intervalo de valores recomendados por el fabricante es de 150-300 g/s por colector individual. Para el conjunto de paneles se ha elegido un gasto másico total de 2500 g/s. Se ha elegido un valor cercano al límite inferior ya que así se minimizan las pérdidas de presión en los paneles, lo cual minimizará la potencia de la bomba de impulso.
- T_3 : Temperatura del agua proveniente de la red. Es un dato proporcionado por SUSA (Seoul Urban Solutions Agency). El valor medio a lo largo del año es de 11,5 °C.
- ε : Eficiencia del intercambiador de calor. En la literatura se puede encontrar que los valores típicos oscilan entre 0,7 y 0,5. Para este cálculo se va a elegir un valor medio de 0,6.
- C_a : Calor específico del agua. Constante física, cuyo valor se obtiene del libro de referencia. Su valor es de 4,18 J/g °C.
- C_{ft} : Calor específico del fluido térmico. Las características del fluido se obtuvieron en el apartado 4.3 y se recogen en la Tabla 8. Su valor es de 4,75 J/g °C.

El resto de los parámetros son las incógnitas del sistema. Los dos más importantes son T_4 y \dot{m}_a , que son la temperatura del agua en la bajada y el gasto másico de agua respectivamente. Estas dos incógnitas, como se puede ver claramente en la segunda ecuación están inversamente relacionadas. Es decir, cuanto más se quiera calentar el agua menos cantidad de agua se puede elevar a esa temperatura y viceversa, si se quiere calentar mucha agua, la temperatura que se puede alcanzar no podrá ser demasiado elevada. Se ha tomado la decisión de fijar la temperatura de bajada (T_4) a 35°C con la intención de precalentar toda el agua posible a una temperatura lo más cercana posible a la temperatura final que se alcanzará en los calentadores.

5.2.3 RESOLUCIÓN DEL SISTEMA Y RESULTADOS.

En la resolución del sistema se han hecho dos pequeñas simplificaciones. La primera de ellas es que se desprecia los posibles que tengan las bombas de impulsión en la temperatura de los fluidos, ya que estos efectos son prácticamente imposibles de notar. Además, se estudia el sistema en régimen permanente.

El sistema final consiste en tres ecuaciones con tres incógnitas: T_1 , T_2 y \dot{m}_a . El sistema se ha resuelto mediante el software MATLAB, y en código creado se adjunta en el ANEXO I.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

T_1	83,38 °C
T_2	84 °C
\dot{m}_a	75 g/s

Tabla 10 Resultados del sistema de ecuaciones en el sistema térmico de la azotea. Elaboración propia.

Para poder comparar estos resultados con el tamaño de la instalación y los datos mostrados en el Capítulo 1. se puede convertir el gasto másico a caudal usando la densidad del agua. Haciendo este cambio de unidades se obtiene un caudal de 270 l/h que representa aproximadamente un 5% del agua caliente sanitaria total consumida en el edificio.

Capítulo 6. SISTEMA COMPLEMENTARIO

Una vez que se han calculado todos los parámetros fundamentales del sistema se pueden calcular los demás elementos auxiliares como bombas y tuberías.

6.1 TUBERÍAS DE SUBIDA

Como la acometida de agua desde la red se sitúa en la planta baja del edificio es necesario instalar tuberías para subir y bajar el agua desde la azotea. Es necesario que la tubería aguante la presión a la que la va a someter.

Este tipo de esfuerzo es muy común y ha sido ampliamente estudiado, por lo que resulta conveniente ver la ecuación que dicta la tensión que sufre la tubería:

$$\sigma = \frac{P * d_i}{2t}$$

Donde:

- P: es la presión del fluido interior. La máxima presión en las tuberías es de 1 MPa.
- di: es el diámetro interior de la tubería.
- t: es el espesor de la tubería.

Se ha usado como referencia el libro: **R. G. Budynas; J. K. Misbett. Shigley's Mechanical engineering desing. Mc Graw Hill.**

Teniendo en cuenta la gran cantidad de tamaños disponibles en tuberías se ha optado por un tamaño común de diámetro exterior de 60 milímetros y un espesor de 3 milímetros.

Los datos se pueden introducir en la ecuación y se obtiene una tensión de 9 MPa, que es una cantidad muy pequeña para cualquier tubería hecha en acero.

Para el material de las tuberías se ha elegido acero inoxidable. La alta humedad presente en Seúl, junto a la poca calidad del aire ambiental y su proximidad al mar hace preferible el uso de un material que esté protegido frente a la corrosión ambiental.

6.1.1 REVESTIMIENTO AISLANTE EN LA TUBERÍA DE BAJADA.

Para conservar el calor del agua en la tubería de bajada es necesario rodearla con algún tipo de aislante térmico. En la siguiente figura se puede ver como el material aislante (gris) rodea a la tubería (negro), así como la notación de los diámetros que se van a usar para los cálculos en este apartado.

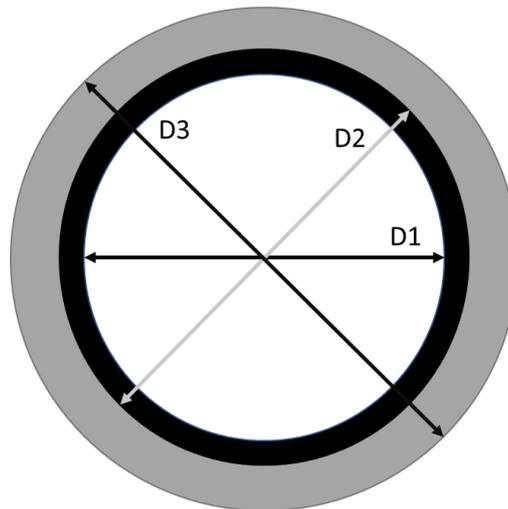


Figura 12 Esquema de aislante térmico en una tubería. Elaboración propia.

El parámetro que hay que calcular es el diámetro 3. Para conseguirlo se va a usar el método de las resistencias térmicas. Usando como referencia: **Yunus A. Çengel; Afshin J. Ghajar. Transferencia de calor y masa. Mc Graw Hill.**

Según este método, el calor que desprende la tubería se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_{tub} + R_{ais} + R_{con}}$$

Donde:

- Q: es el calor desprendido.

- T1 y T2 son las temperaturas entre las que se produce la transferencia de calor.
- R: son las distintas resistencias térmicas.

En total hay 3 resistencias térmicas distintas: la resistencia de la tubería, la resistencia del aislante y la resistencia por convección en el interior de la tubería por el movimiento del agua. Las resistencias se pueden calcular con:

$$R_{cilindro} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk}$$

Y para la resistencia debido a la convección:

$$R_{convección} = \frac{1}{4\pi r L h}$$

La incógnita es por tanto la resistencia que tiene que ofrecer el aislante.

6.1.1.1 Resistencia térmica de la tubería.

La resistencia térmica de la tubería se puede calcular directamente aplicando la ecuación para la resistencia térmica de un cilindro. Ya que tanto los radio como la longitud y su conductividad térmica son conocidos.

$$R_{tub} = \frac{\ln(30/27)}{2\pi * 36 * 14,2} = 3,28 * 10^{-5} K/W$$

6.1.1.2 Resistencia térmica por convección.

Para poder calcular la resistencia térmica primero hay que calcular el parámetro h, ligado al número de Nusselt. La relación es la siguiente:

$$Nu = \frac{hL}{k} \rightarrow h = \frac{Nu k}{L}$$

El número de Nusselt se puede calcular mediante la ecuación de Petukhov-Gnielinki:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re - 1000)Pr}{1 + 12,7(f/8)(Pr^{2/3} - 1)}$$

Donde:

- Pr: Número de Prandtl. Para el agua su valor es 7.
- Re: Número de Reynolds. $(\rho \cdot v \cdot D) / \mu$. En este caso su valor es de $95,5 \cdot 10^5$.
- f: Factor de fricción de Darcy. Se puede obtener con el diagrama de Moody una vez conocidos el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. Su valor es de 0,06.

Con todos estos datos se puede calcular el valor de h y de la resistencia térmica.

$$R_{con} = \frac{1}{4\pi \cdot 0,027 \cdot 146,77} = 5,578 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}$$

6.1.1.3 Temperaturas y calor escapado permitido.

Las temperaturas en la ecuación de calor son:

- T1: Temperatura interna del fluido. Es de 35°C.
- T2: Temperatura exterior a la tubería. Es la temperatura media del interior del edificio. Es de 20°C.

El único término de la ecuación que queda por determinar es el calor que se escapa del agua al exterior de la tubería. Este calor escapado provoca un enfriamiento del agua, que es lo que se pretende evitar con el aislante. Este calor se puede calcular fácilmente mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m} \cdot C_e \cdot \Delta T = 313 \cdot \Delta T \text{ W/K}$$

El ΔT permitido es de 1°C, que representa menos de un 2% de la temperatura.

6.1.1.4 Cálculo de espesor del aislante.

Una vez que se tienen todos los datos se puede resolver la ecuación y despejar el valor de la resistencia térmica que debe tener la capa aislante.

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_{tub} + R_{ais} + R_{con}} \rightarrow R_{ais} = 4,733 * 10^{-2}$$

Con el valor de la resistencia se puede obtener el radio exterior de la capa aislante.

$$R_{cilindro} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi Lk} \rightarrow r_3 = 47,03 \text{ mm}$$

Y por diferencia de radios se puede obtener el espesor:

$$\text{Espesor} = r_3 - r_2 = 47,03 - 30 = 17,03 \approx 20 \text{ mm}$$

6.2 BOMBA DE IMPULSIÓN DE AGUA.

La bomba de impulsión tiene como objetivo elevar el agua desde la planta baja del edificio hasta la azotea. En el esquema de la Figura 11 se trata del tramo comprendido entre los puntos 3 y 4. La bomba no solo tiene que elevar el agua toda la altura, sino que también tiene que mantener una presión y caudal adecuados en el intercambiador.

Para este cálculo se va a emplear el principio de Bernoulli:

$$\frac{v^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g} = cte$$

Se necesita, por tanto, conocer los valores de velocidad del fluido, altura y presión en los puntos 3 y 4. Además, será necesario calcular las pérdidas por fricción en la tubería y en el intercambiador de calor para poder calcular la altura manométrica de la bomba.

6.2.1 VELOCIDAD, ALTURA Y PRESIÓN EN LOS PUNTOS DE INTERÉS.

Con el resultado del gasto másico obtenido en el apartado 5.2.3 y con las dimensiones de la tubería la velocidad del fluido se puede obtener fácilmente mediante la ecuación:

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

Conociendo todos los parámetros necesarios la velocidad es de 1,798 m/s. Esta velocidad está dentro de las recomendadas en el libro de referencia en intercambiadores de calor para el trabajo de intercambiadores de calor, por lo que no es un parámetro que se quiera modificar.

La altura donde la bomba está situada se tomará como punto cero, y en punto 4, situado en la azotea, tendrá una altura de 36 metros, como se indica en el Capítulo 1.

La presión del agua en la acometida de la red es de 7 bar. Este número también está dentro del intervalo recomendado para el funcionamiento óptimo del intercambiador de calor, por lo que no interesa cambiar su valor.

6.2.2 PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA DE SUBIDA.

Las pérdidas en la tubería son debidas a la fricción entre el fluido y la pared de la tubería. Además, hay que tener en cuenta la caída de presión que se produce en el intercambiador de calor.

Las pérdidas por fricción, en metros, se pueden calcular mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = f \frac{Lv^2}{2dg}$$

Donde:

- L es la longitud de la tubería, 36 metros.
- v es la velocidad del fluido, 1,768 metros por segundo.
- D es el diámetro de la tubería, 54 milímetros.
- g es la aceleración de la gravedad.
- f es el factor de fricción.

El único valor desconocido es el factor de fricción. Este se puede calcular fácilmente usando el diagrama de Moody.

Sabiendo el número de Reynolds, calculado anteriormente en el apartado 6.1.1.2, y la rugosidad relativa de la tubería, un valor dado por la elección del material de la tubería el factor f se puede mirar directamente del diagrama.

Conociendo todos los parámetros de la ecuación se puede calcular que las pérdidas por fricción son de 6,4 metros.

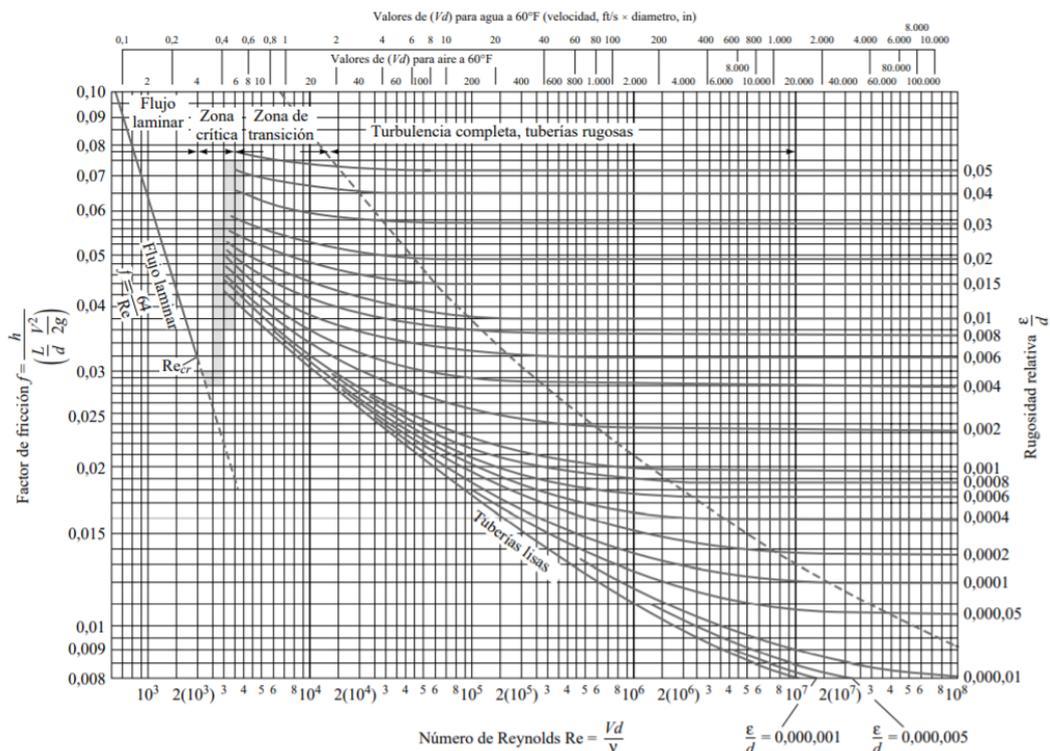


Figura 13 Diagrama de Moody [21].

Las pérdidas de presión en el intercambiador fluctúan dependiendo de la máquina en particular que se use. Se considera que las pérdidas típicas de presión en un intercambiador son del 30%. Este dato se puede convertir en metros para usarlo en la ecuación de Bernoulli:

$$\text{Pérdidas en intercambiador} = \frac{0,3 * P}{\rho g} = 21,5 \text{ metros.}$$

6.2.3 ALTURA MANOMÉTRICA Y POTENCIA DE LA BOMBA.

Conociendo todos los términos de en la ecuación de Bernoulli se obtiene la altura manométrica que debe tener la bomba:

$$h_{bomba} = h_{fricción} + h_{intercambiador} + z = 63,9 \text{ metros}$$

Con este dato, la potencia de la bomba es fácilmente calculable:

$$Potencia = \rho g Q h_{bomba}$$

Donde:

- ρ es la densidad del agua.
- g es la aceleración de la gravedad.
- Q es el caudal másico que circula por la bomba. Calculado en el apartado 5.2.3.
- h_{bomba} es la altura manométrica de la bomba.

La potencia total de la bomba de subida es de 470 vatios.

6.3 BOMBA DE CIRCULACIÓN DEL FLUIDO TÉRMICO.

Es la bomba encargada de mantener el flujo de fluido térmico por los colectores solares y el intercambiador de calor.

Esta bomba solo tiene que superar las pérdidas que se producen en el recorrido del fluido, ya que el resto de los parámetros se mantienen constantes a lo largo del circuito.

Las pérdidas en el intercambiador de calor son del 30% de la presión del fluido, como se dijo en el apartado 6.2.2. Las pérdidas que se producen en los colectores solares dependen del recorrido que realiza el fluido dentro de los mismos, viene dado por el fabricante y depende del caudal usado. Con el caudal elegido las pérdidas de presión son del 10%.

El total de pérdidas es:

$$Pérdidas = (0,1 + 0,3) \frac{P}{\rho g} = 28,9 \approx 30 \text{ metros}$$

La altura manométrica de la bomba es, por tanto, de 30 metros.

La potencia de la bomba se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Potencia = \rho g Q h_{bomba}$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido térmico. Calculado en la Tabla 8.
- g es la aceleración de la gravedad.
- Q es el caudal másico que circula por la bomba. Calculado en el apartado 5.2.3.
- h_{bomba} es la altura manométrica de la bomba.

La potencia total de la bomba de subida es de 735 vatios.

6.4 SELECCIÓN DE EQUIPAMIENTO

Una vez que se saben las características que deben tener los distintos elementos de la instalación se puede elegir la opción más adecuada.

Para las bombas, se van a elegir modelos de la empresa Grundfos. Esta empresa está reconocida a nivel mundial como uno de los mejores fabricantes de bombas, además, esta empresa tiene una planta de fabricación en Corea del Sur por lo que se tiene acceso directo a todas las opciones comerciales disponibles.

La empresa dispone de una herramienta online, “Grundfos Product Center”, que permite buscar el modelo que más se ajusta a las especificaciones requeridas. Usando esta herramienta se pueden encontrar los modelos más adecuados para cada una de las bombas.

Para la bomba de subida de agua se ha elegido el modelo SP 1A-14.

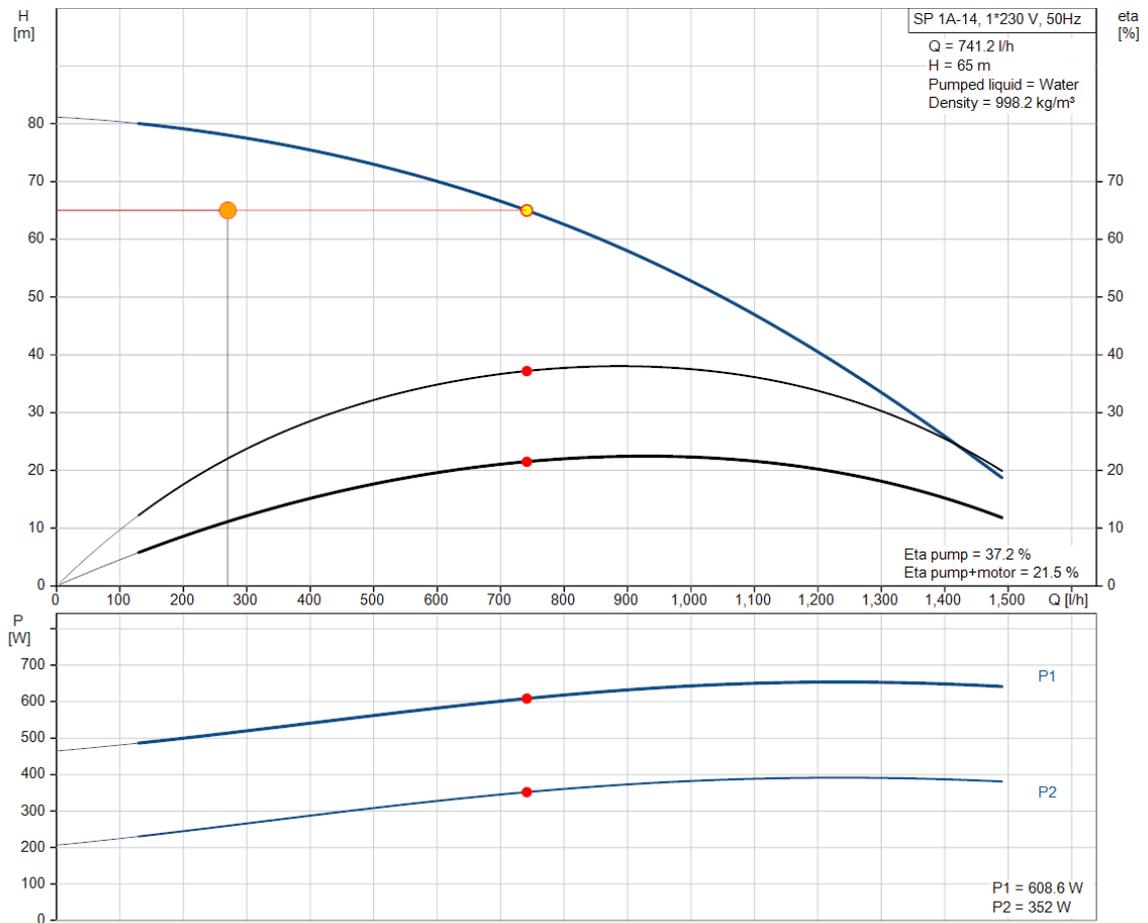


Figura 14 Curva característica de la bomba de subida [28]

El modelo de la bomba de circulación del líquido térmico es el CR 10-4.

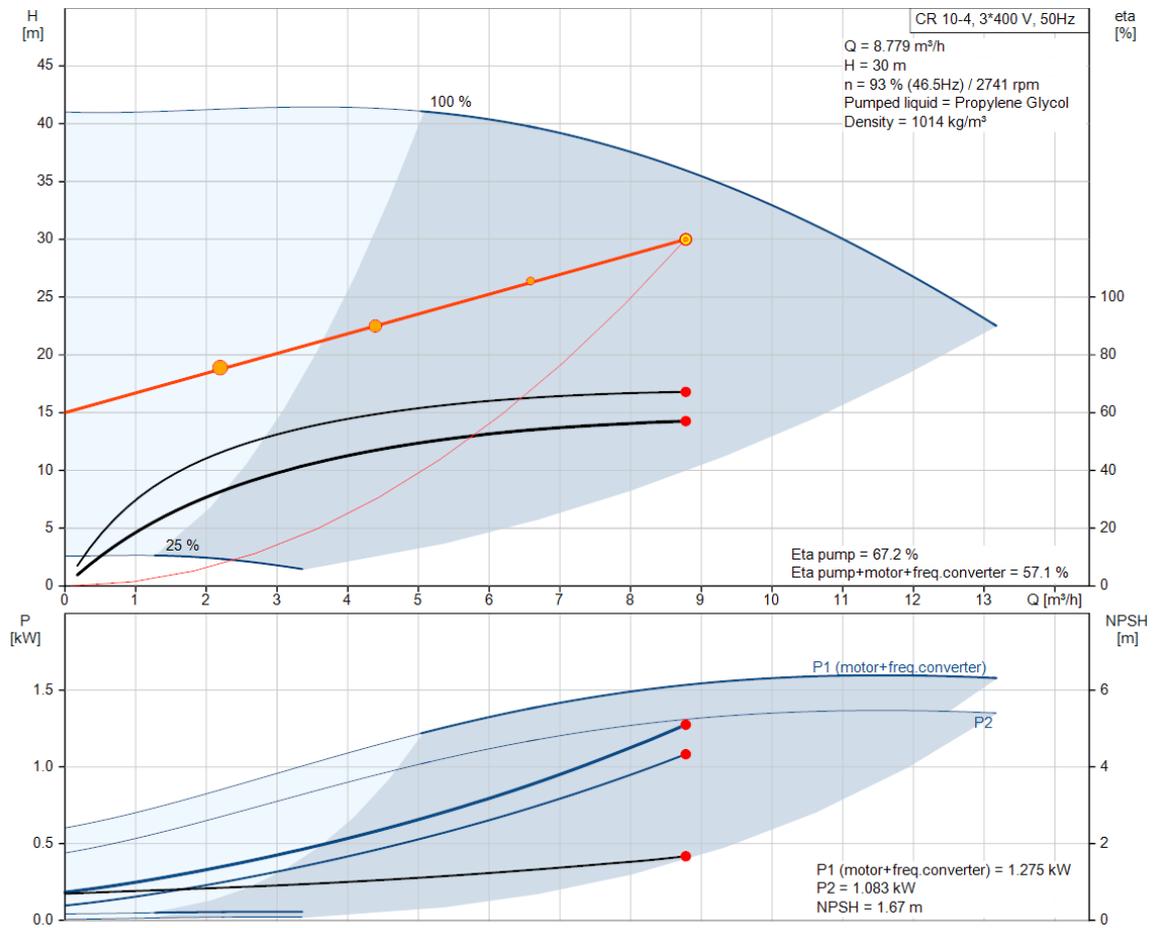


Figura 15 Curva característica de la bomba de circulación del fluido térmico [28].

Capítulo 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.

7.1 RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

El rendimiento se define como la ratio entre la energía disponible y la energía útil conseguida. La energía disponible es la captada por los colectores solares, que se calculó en el apartado 4.2. La energía útil es la que se ha usado para calentar el agua desde su temperatura original hasta la temperatura a la que llega al depósito. En el contexto de este proyecto es más cómodo hablar en términos de potencia. De esta manera el rendimiento de la instalación es:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{paneles}}} = \frac{\dot{m}C_e(\Delta T)}{Q_{\text{paneles}}} = \frac{7053,75}{7422,65} = 0,95 \equiv 95\%$$

El alto rendimiento obtenido significa que la instalación tiene muy pocas pérdidas térmicas en su recorrido. Esto es esperable ya que los requerimientos impuestos en los elementos aislantes y en intercambiadores han sido muy exigentes.

Es importante tener en cuenta que este rendimiento se ha calculado respecto al calor absorbido por los paneles solares. El rendimiento de los paneles solares se calculó con la Figura 8. Si se quiere saber el rendimiento respecto a la potencia total que llega a los paneles:

$$\eta_{TOTAL} = \eta_{PANELES}\eta_{INSTALACIÓN} = 0,49 * 0,95 = 0,47 \equiv 47\%$$

Como era de esperar, este rendimiento es mucho menor debido al rendimiento de los paneles solares.

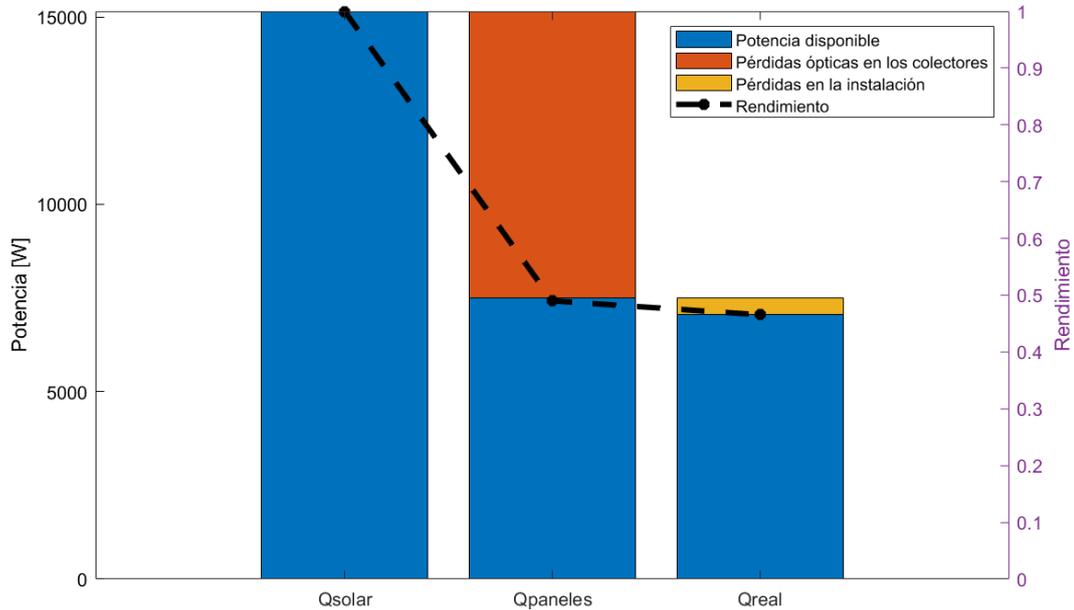


Figura 16 Energía obtenida y rendimiento. Elaboración propia.

7.2 AHORRO TOTAL

El resultado más importante de todos los cálculos es la cantidad de agua que se puede calentar mediante la nueva instalación de paneles solares. El resultado, obtenido en el Capítulo 5, es de 75 gramos por segundo. Esto equivale a 270 litros por hora.

El objetivo principal de esta instalación es conseguir ahorrar en combustible. Como se comenta en el Capítulo 1, el consumo de agua caliente en el edificio es de unos 5445 litros por hora. Esto supone que solo se consigue calentar un 5% de toda el agua usada en la residencia, por lo que el ahorro final no será demasiado grande. Además, hay que recordar que el agua solo se calienta hasta los 35°C, mientras que el agua caliente que se reparte por el edificio tiene una temperatura de 45°C. Si se calcula la potencia total necesaria:

$$Q = \dot{m}C_e(\Delta T) = 310 \text{ kW en total o } 105 \text{ kW por calentador}$$

La instalación planteada solo es capaz de aportar 7 kW.

Sabiendo que la capacidad calorífica del gas natural es de 10 kWh/m³ se puede calcular fácilmente que el ahorro total de gas natural es de 0,7 m³/h, que es lo mismo que decir 16,8 metros cúbicos al día.

En Corea del Sur el precio del gas natural ronda los 700 ₩/m³. Por lo que el ahorro diario sería aproximadamente de unos 11760 ₩, convirtiéndolo en euros, el ahorro es de, aproximadamente 9,05 € al día.

7.3 AHORRO ECONÓMICO

Para ver el ahorro económico que se puede conseguir hay que comparar si el ahorro en combustible supera la inversión inicial en equipamiento y puesta en marcha. Hay que tener en cuenta, que las bombas y demás elementos tienen un coste de funcionamiento y mantenimiento adicional que hay que tener en cuenta.

En el caso de las bombas, la misma herramienta que se usó para elegir las, también proporciona una estimación en el coste de funcionamiento.

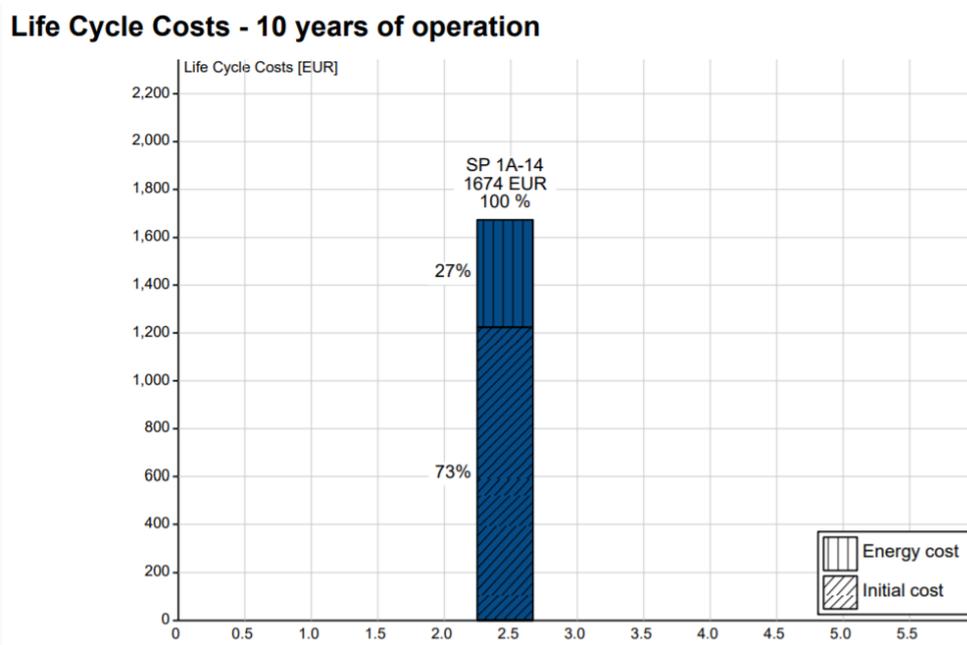


Figura 17 Coste de operación de la bomba de subida [28]

Life Cycle Costs - 15 years of operation

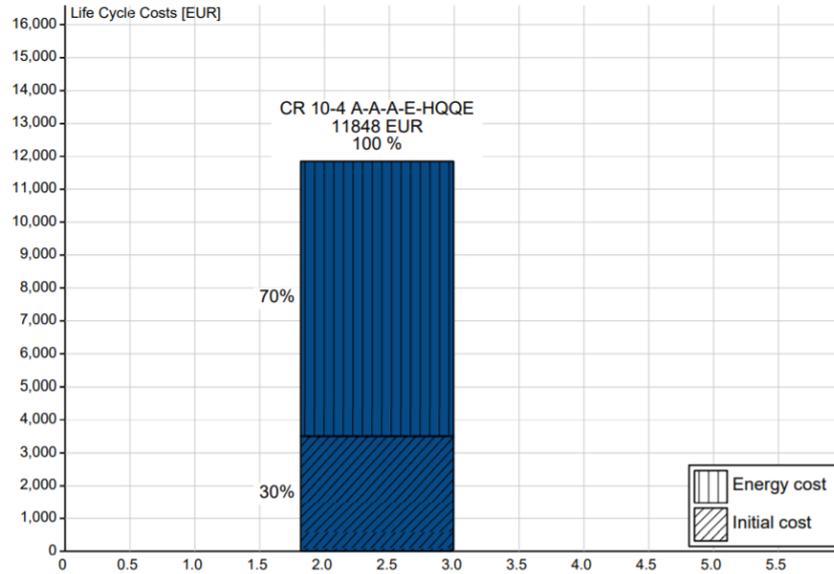


Figura 18 Coste de operación de la bomba de circulación [28]

El intervalo de tiempo que se va a estudiar es de 25 años. Este tiempo es la vida útil de los colectores solares, el equipamiento más caro y crítico de toda la instalación. A los 25 años el rendimiento de los paneles solares caerá notablemente y será necesario el remplazo de la mayoría de los paneles. Hay que tener en cuenta que la vida útil de las bombas elegidas es menor que el de los colectores, por lo que será necesario reemplazarlas cuando pase su vida útil.

Instalación original		Nueva propuesta	
Concepto	Coste	Concepto	Coste
Combustible	146224 €/año	Combustible	146224–3303 €/año
		Bomba subida	1222 €
		Operación bomba subida	45,2 €/año

Bomba circulación fluido térmico	3555 €
Operación bomba circulación	829 €/año
Paneles solares Instalación	1100x16 € 10000 €
Mantenimiento	300 €/año

Tabla 11 Comparación de costes. Elaboración propia.

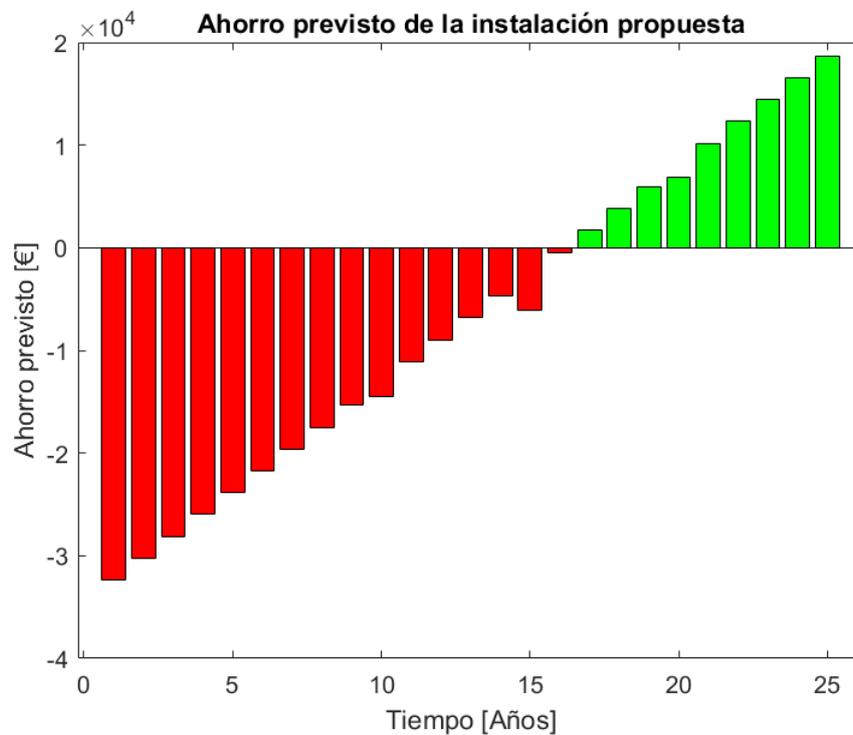


Figura 19 Ahorro previsto de la instalación propuesta. Elaboración propia.

Analizando los costes de la inversión inicial, los costes de operación del equipamiento y el ahorro en combustible se estima que el proyecto es económicamente rentable. Produciendo beneficios netos a partir del decimoséptimo año.

Capítulo 8. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ALCANCE DE LOS ODS.

Uno de los objetivos principales del proyecto es conseguir disminuir la cantidad de combustible, gas natural en este caso, que se consume para producir el agua caliente que demandan los habitantes del edificio. Es necesario por tanto cuantificar numéricamente el ahorro conseguido.

8.1 DISMINUCIÓN EN LAS EMISIONES DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LA COMBUSTIÓN.

El principal producto que se obtiene de la combustión de gas natural es el CO₂, y también se producen CO y óxidos de nitrógeno (NO_x).

Producto	Cantidad emitida
CO ₂	200 g/kWh
CO	0,01 g/kWh
NO _x	0,1 g/kWh

Tabla 12 Emisiones en la combustión de gas natural [31][32].

Sabiendo las emisiones por kWh y con los datos de consumo y ahorro que se obtuvieron en el apartado 7.1 se puede calcular cuál será la disminución conseguida.

	Instalación actual	Nueva propuesta	Reducción
CO ₂	62 kg/h	60,6 kg/h	2,25 %
CO	3,1 g/h	3 g/h	3,33 %
NO _x	31 g/h	30,3 g/h	2,90 %

Tabla 13 Comparación de emisiones. Elaboración propia.

A la luz de los resultados, se puede ver, que el ahorro conseguido no es excesivamente importante, pero en una ciudad donde la calidad del aire es una de las mayores preocupaciones de la población es importante el desarrollo de este tipo de proyectos para empezar a combatir el problema.

8.2 IMPLICACIÓN DEL PROYECTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una serie de pautas y guías propuestas por la Organización de Naciones Unidas con el objetivo de promover un desarrollo de la sociedad que combine los aspectos social, económico y ecológico de manera conjunta.

Las Naciones Unidas han propuesto 17 objetivos distintos, divididos en 3 planos distintos: social, económico y medioambiental.



Figura 20 Esquema del desarrollo sostenible [33]

Este proyecto es un claro ejemplo de cómo los tres planos están relacionados, siendo casi imposible distinguir qué plano es más importante.

Antes de profundizar en más detalle cómo este proyecto se relaciona con los objetivos individuales es conveniente hacer primero una vista preliminar para conseguir comprender mejor cómo se pueden relacionar cada uno de los tres planes en un proyecto.

Mirando este proyecto desde una perspectiva económica, se consigue un ahorro a largo plazo gracias a la instalación de los paneles solares. Para comprender cómo este proyecto se puede considerar sostenible hay que ver cómo se ha conseguido este ahorro mediante prácticas que tienen un impacto positivo en los otros dos planos. El impacto del proyecto en el plano medioambiental es innegable, ya que el resultado final consiste en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes derivados de la combustión de combustibles fósiles. Gracias a esta disminución, no solo se consigue proteger el

medioambiente de efectos de los gases contaminantes como el calentamiento global o la lluvia ácida, sino que además la disminución de elementos contaminantes tiene efectos positivos sobre la salud humana. Y es precisamente este último efecto el que más afecta en el contexto del plano social.

8.2.1 IMPACTO EN LOS OBJETIVOS INDIVIDUALES.

De todos los distintos objetivos que hay, el objetivo número siete: “Asegurar el acceso a una energía económica, fiable, sostenible y moderna” es posiblemente el más central en este proyecto. Dentro de este objetivo, hay que destacar la meta 7.2: “Incrementar el porcentaje de energía renovable en el mix energético global”

Dentro del plano social, hay que destacar el impacto que se tiene en dos objetivos en particular. Primero, el objetivo 11:” Hacer que las ciudades y otros asentamientos humanos sean más seguros, resistentes y sostenibles” y en particular la meta 11.6:” Reducir los efectos medioambientales de las ciudades y mejorar la calidad del aire”. La calidad del aire es uno de los factores que más afectan a la salud de las personas y la presencia de elementos contaminantes puede disminuir de manera drástica la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

Este objetivo cobra una mayor relevancia si el proyecto se sitúa en su contexto geográfico. En el área metropolitana de Seúl la contaminación y calidad del aire es una de las mayores preocupaciones de los ciudadanos. Esta preocupación se puede ver reflejada en la cantidad de paneles informativos que hay repartidos por la ciudad, informando en tiempo real tanto a conductores como peatones de los niveles de contaminación actuales. En la siguiente imagen se puede ver uno de los carteles, situado frente al edificio del ayuntamiento en “Sejong daero”, una de las principales avenidas de la ciudad.



Imagen 1 Anuncio de calidad del aire en Seúl.

Directamente ligado a este último está el objetivo 3:” Asegurar una vida sana para todos” y en particular la meta 3.9:” Reducir el número de muertes por contaminación”. En el área metropolitana de Seúl son comunes los episodios de alta contaminación lo que provoca serios problemas de salud pública.

Por último, este proyecto está directamente relacionado con el objetivo 13: “Realizar acciones de manera urgente para combatir el cambio climático y sus efectos” ya que la mejor manera de realizar esta lucha es mediante proyectos que disminuyan en la medida de lo posible y promuevan el uso de energías limpias y renovables.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://energiasolarfotovoltaica.org/tipos-de-placas-solares-termicas>
- [2] BAXI <https://www.baxi.es/productos/energia-solar/sistemas-compactos/sistemas-termosifonicos-sts>
- [3] ©YotuplacaSolares Blog <https://yotuplacasolares.com/circulacion-placas-solares/>
- [4] Jane Chung, Reuters. <https://uk.reuters.com/article/uk-southkorea-energy-renewable-analysis/south-korea-fires-up-on-renewables-to-close-more-coal-plants-idUKKCN1TJ0JQ>
- [5] Korea Energy Agency https://www.energy.or.kr/renew_eng/new/program.aspx
- [6] Michael Herz, BusinessKorea, Julio 2019
<http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=34083>
- [7] Página oficial del gobierno del área metropolitana de Seúl
<http://www.seoul.go.kr/main/index.jsp>.
- [8] Agencia Coreana de Meteorología <https://www.weather.go.kr/w/index.do>
- [9] Korea Institute of Energy Research, Data Center.
http://kredc.kier.re.kr/kier_eng/map/solar_thermal.asp
- [10] Dynalene Inc. <https://www.dynalene.com/news/2015/10/whats-your-point-freeze-point-or-burst-point/>
- [11] Carpemar, Documentación
https://carpemar.com/images/pdf/FT/PGC_NSF/FT_PGC_NSF_EN.pdf
- [12] Simone Mortignon, Mppt Solar Blog <https://www.mpptsolar.com/es/orientacion-inclinacion-paneles-solares.html>

- [13] Kangnam Co. Ltd. <http://www.knsol.co.kr/eng/main/index.php>
- [14] GREENoneTEC https://www.greenonetec.com/wp-content/uploads/2019/03/3003_en_PDB_2018-12.pdf
- [15] Linuo-Ritter International <http://www.linuo-ritter-international.com/>
- [16] Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, Página oficial, <https://iupac.org/what-we-do/nomenclature/>
- [17] Gabriel Bolivar Lifeder Blog <https://www.lifeder.com/propilenglicol/>
- [18] <https://medium.com/@solarify/which-direction-must-solar-panels-face-and-what-angle-should-they-be-tilted-at-7242c671e4b9>
- [19] Seoul Urban Solutions Agency, Página oficial <http://susa.or.kr/sites/default/files/resources/Seoul%20Tap%20Water%20Arisu%20%28English%29.pdf>
- [20] Yunus A. Çengel; Afshin J. Ghajar. *Transferencia de calor y masa*. Mc Graw Hill.
- [21] White, F. M. *Mecánica de Fluidos*. McGraw Hill. Madrid 2008
- [22] R. G. Budynas; J. K. Misbett. *Shigley's Mechanical engineering desing*. Mc Graw Hill.
- [23] Y.A. Çengel, M.A. Boles. *Termodinámica*. Mc Graw-Hill
- [24] Dixon S. L. and Hall, C. A., *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*. 6th ed., Bitterworth – Heinemann, Elsevie
- [25] Rielloburners, Página oficial. https://www.rielloburners.co.uk/images/content/downloads/RS%2025-200_M%20BLU.pdf

- [26] GlobalPetrolPrices.com https://www.globalpetrolprices.com/natural_gas_prices/
- [27] Grundfos, Página oficial, Noticias <https://www.grundfos.com/about-us/news-and-press/news/grundfos-unites-in-south-korea.html>
- [28] Grundfos, Página oficial, Product Center <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?qcid=965469304>
- [29] Volker Quasching, Página personal, Statistics https://www.volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index_e.php
- [30] Nedgia Grupo Naturgy <https://www.nedgia.es/conocenos/caracteristicas-del-gas-natural/#:~:text=El%20gas%20natural%20es%20un,trazas%20de%20hidrocarburos%20m%C3%A1s%20pesados.>
- [31] Byeong-Uk Kim, Changan Bae Hyun, Cheol Kim, Eunhye Kim, Soontae Kim.
"Spatially and chemically resolved source apportionment analysis: Case study of high particulate matter event"
- [32] Sanz Fernández, Íñigo *"Coste del ciclo de vida de las bombas"* Anales de mecánica y electricidad, Septiembre-Octubre 2003.

ANEXO I. CÓDIGOS MATLAB.

```
%Comparación de rendimientos en los paneles solares.
%Mario Fernández Pedraz
%28/05/2020
clear all
clc

%Parámetros iniales
%Los fabricantes sigues el siguiente orden: "Kangnam", "GoT single","GoT
%double","linuo-ritter"
%Parámetros
n0 = [0.723 0.857 0.814 0.780];
a1 = [4.139 3.083 2.102 3.611];
a2 = [0.081 0.013 0.016 0.011];

G = 135.205; %Irradiancia

At = linspace(0,20,5000);

%Curvas de rendimiento.
n1 = n0(1)-(a1(1)/G).*At-(a2(1)/G).*At.^2;
n2 = n0(2)-(a1(2)/G).*At-(a2(2)/G).*At.^2;
n3 = n0(3)-(a1(3)/G).*At-(a2(3)/G).*At.^2;
n4 = n0(4)-(a1(4)/G).*At-(a2(4)/G).*At.^2;

%Dibujo de gráficas
figure

plot(At,n1,'LineWidth',2.5)
hold on
plot(At,n2,'LineWidth',2.5)
hold on
plot(At,n3,'g','LineWidth',2.5)
hold on
plot(At,n4,'y','LineWidth',2.5)
hold off
title('Comparación de rendimientos')
xlabel('Tm - Ta')
ylabel('Rendimiento')
legend('Kangnam','GREENoneTEC simple','GREENoneTEC double','Linuo-ritter')

%Comparación del área total disponible.
%Mario Fernández Pedraz
%01/06/2020
clear all
clc
```

```
%Parámetros geométricos. En orden: Kangam, GREENoneTEC, Linuo-ritter

W = [0.089 0.135 0.080]; %Grosor
L = [1.010 2.224 1.000]; %Longitud
H = [2.010 3.557 2.000]; %Ancho
At = [1.8766 7.41 1.84]; %Área de absorción por panel unidad
theta = pi/4; %Ángulo inclinación del panel
betta = pi/6; %Ángulo de la radiación solar

A = [8.5 15]; %Profundidad de cada área
B = [11 11]; %Ancho de cada área

%Instalación horizontal [1]
%Inicialización de incógnitas
Montajel = zeros(1,3);
Sombral = zeros(1,3);
Distancial = zeros(1,3);
Separacion1 = zeros(1,3);
nfilas1 = zeros(2,3);
ncolumnas1 = zeros(2,3);
nelementos1 = zeros(2,3);
extral = zeros(2,3);
Azonas1 = zeros(2,3);
Atotal1 = zeros(1,3);

%Cálculo de parámetros geométricos
for i=1:3

    Montajel(i) = W(i)/cos(theta);
    Sombral(i) = L(i)*sin(theta);
    Distancial(i) = L(i)*cos(theta)/sin(betta);

    Separacion1(i) = Montajel(i) + Sombral(i) + Distancial(i);

end

%Cálculo del número de paneles individuales
for j=1:2
    for i=1:3

        nfilas1(j,i) = floor(A(j)/Separacion1(i));
        if rem(A(j),Separacion1(i)) > (Sombral(i) + Montajel(i))
            nfilas1(j,i) = nfilas1(j,i) + 1;
        end

        ncolumnas1(j,i) = floor(B(j)/H(i));

        nelementos1(j,i) = nfilas1(j,i)*ncolumnas1(j,i);
    end
end

%Cálculo del área total instalable en cada zona
for j=1:2
    for i=1:3
```

```

        Azonas1(j,i) = nelementos1(j,i)*At(i);

    end
end
%ÁREA TOTAL
for i=1:3

    Atotal1(i) = Azonas1(1,i) + Azonas1(2,i);

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Instalación vertical [2]
%Inicialización de incógnitas
Montaje2 = zeros(1,3);
Sombra2 = zeros(1,3);
Distancia2 = zeros(1,3);
Separacion2 = zeros(1,3);
nfilas2 = zeros(2,3);
ncolumnas2 = zeros(2,3);
nelementos2 = zeros(2,3);
extra2 = zeros(2,3);
Azonas2 = zeros(2,3);
Atotal2 = zeros(1,3);

%Cálculo de parámetros geométricos
for i=1:3

    Montaje2(i) = W(i)/cos(theta);
    Sombra2(i) = H(i)*sin(theta);
    Distancia2(i) = H(i)*cos(theta)/sin(betta);

    Separacion2(i) = Montaje2(i) + Sombra2(i) + Distancia2(i);

end
%Cálculo del número de paneles individuales
for j=1:2
    for i=1:3

        nfilas2(j,i) = floor(A(j)/Separacion2(i));
        if rem(A(j),Separacion2(i)) > (Sombra1(i) + Montaje1(i))
            nfilas1(j,i) = nfilas2(j,i) + 1;
        end

        ncolumnas2(j,i) = floor(B(j)/L(i));

        nelementos2(j,i) = nfilas1(j,i)*ncolumnas2(j,i);

    end
end
%Cálculo del área total instalable en cada zona
for j=1:2
    for i=1:3

```

```

        Azonas2(j,i) = nelementos2(j,i)*At(i);

    end
end
%ÁREA TOTAL
for i=1:3

    Atotal2(i) = Azonas2(1,i) + Azonas2(2,i);

end

```

```

%Resolucion sistema temperaturas azotea.
%Mario Fernández Pedraz
%12/06/2020
clear all
clc

%Introducción de variables
syms T1 T2 T3 T4 Qsolar mft Cft ma Ca e

%Iniciación de parámetros predefinidos
T3 = 11.5;
T4 = 40;
Qsolar = 7422.65;
mft = 2400;
Cft = 4.75;
Ca = 4.18;
e = 0.8;

%Sistema de ecuaciones
Ec1 = Qsolar == mft*Cft*(T2-T1);
Ec2 = mft*Cft*(T2-T1) == ma*Ca*(T4-T3);
Ec3 = e == (T4-T3)/(T2-T3);

Solucion = solve(Ec1,Ec2,Ec3,ma,T1,T2);

```

```

%Gráficos de los resultados.
%Mario Fernández Pedraz
%03/07/2020
clear all
clc
y = [7422.65/0.49 0 0; 7492.65 7422.65/0.49-7492.65 0; 7054 0 7492.65-7054];
r = [1 0.49 0.49*0.95];
xcoor = [1 2 3];
figure
bar(y,'stacked')
yyaxis left
ylim([0 7422.65/0.49])

```

```
xticklabels({'Qsolar','Qpaneles','Qreal'})
ylabel('Potencia [W]')
yyaxis right
line(xcoor,r,'Color','k','LineStyle','--','Marker','*','LineWidth',3)
ylim([0 1])
ylabel('Rendimiento')
legend('Potencia disponible','Pérdidas ópticas en los colectores','Pérdidas en la
instalación','Rendimiento')
```

```
%Gráficos del ahorro de combustible.
%Mario Fernández Pedraz
%06/07/2020
clear all
clc
Combustible = 146224;

Comb_ahorro = 146224-3303;
Bombal_ini = 1222;
Bomba1 = 45.2;
Bomba2_ini = 3555;
Bomba2 = 829.3;
Paneles = 1100*16;
Mantenimiento = 300;
Otros = 10000;
Inversion = Bombal_ini+Bomba2_ini+Paneles+Otros;
Funcionamiento = Comb_ahorro+Bomba1+Bomba2+Mantenimiento;
a = 25;
t = linspace(1,a,a);

original = zeros(1,a);
nuevo = zeros(1,a);

nuevo(1) = Inversion;

for i=2:length(t)

    original(i) = original(i-1) + Combustible;

    nuevo(i) = nuevo(i-1) + Funcionamiento;
end

nuevo(10) = nuevo(10) + Bombal_ini;
nuevo(20) = nuevo(20) + Bombal_ini;
nuevo(15) = nuevo(15) + Bomba2_ini;

diferencia = original - nuevo;
figure
line(t,original,'Color','red','LineStyle','-','Marker','x','LineWidth',2)
hold on
line(t,nuevo,'Color','b','LineStyle','-','Marker','x','LineWidth',2)
legend('Instalación actual','Nueva propuesta')
xlabel('Tiempo [Años]')
ylabel('Coste acumulado [€]')
```

```
xlim([1 25])

figure
b=bar(t,diferencia)

b.FaceColor = 'flat';
for i=1:a
    if diferencia(i) < 0
        b.CData(i,:) = [1 0 0];
    else
        b.CData(i,:) = [0 1 0];
    end
end
title('Ahorro previsto de la instalación propuesta')
xlabel('Tiempo [Años]')
ylabel('Ahorro previsto [€]')
```

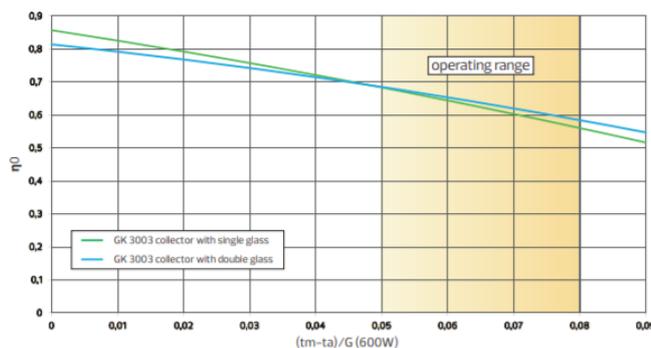
ANEXO II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

- Colectores solares:

INSTALLATION OPTIONS



Technical data	GK3133 / GK3133-S	GK3803 / GK3803-S
Collector type	Large-size collector	
Overall area [m ²]	13.17	7.91
Absorber area [m ²]	12.37	7.42
Aperture area [m ²]	12.35	7.41
L x W x H [mm]	5.920 x 2.224 x 135	3.557 x 2.224 x 135
Weight [kg]	333	202
Weight [kg] - GK/S	232	141
Absorber capacity [l]	11.35	6.81
Housing	Al-frame	
Surface	Al-natural	
Back plate	Al-sheet	
Absorber	Al, high selective vacuum coating	
Absorption [%]	95	
Emission [%]	5	
Ø manifold [mm]	28	
Ø risers [mm]	8	
Connections	1 1/4" external thread	
Glass	3.2 mm tempered solar safety glass (double glazing)	
Transmittance of glass [%]	95 - AR glass	
Insulation	70 mm mineral wool plate	
Max. stagnation temperature	218 °C under norm conditions	
Max. operating pressure	10 bar	
Heat transfer medium	Polypropylene glycol / water mixture	
Packaging	for truck and container optimized	



Efficiency factors measured on Solar Keymark conditions with solar irradiance 600 W/m² (based on aperture area).

Model	GK3003 single glass	GK3003 double glass
η ₀	0,857	0,814
a ₁ [W/(m ² K)]	3,083	2,102
a ₂ [W/(m ² K ²)]	0,013	0,016

Efficiency:

$$\eta = \eta_0 - \frac{a_1 (T_m - T_a)}{G} - \frac{a_2 (T_m - T_a)^2}{G}$$

T_a = Ambient temperature [°C]
 T_m = Mean fluid temperature [°C]
 G = Irradiance [W/m²]

- Bomba de subida

Qty.	Description
	<p>Motor diameter: 4 inch</p> <p>Electrical data:</p> <p>Motor type: MS402</p> <p>Motor type 1-phase: PSC</p> <p>Rated power - P2: 0.37 kW</p> <p>Power (P2) required by pump: 0.37 kW</p> <p>Mains frequency: 50 Hz</p> <p>Rated voltage: 1 x 220-230-240 V</p> <p>Rated current: 2.90-2.90-2.90 A</p> <p>Starting current: 400-430 %</p> <p>Cos phi - power factor: 0.99-0.98-0.97</p> <p>Rated speed: 2830-2840-2850 rpm</p> <p>Start. method: direct-on-line</p> <p>Enclosure class (IEC 34-5): IP68</p> <p>Insulation class (IEC 85): B</p> <p>Built-in temp. transmitter: no</p> <p>Motor No: 79753402</p> <p>Others:</p> <p>Minimum efficiency index, MEI $\Delta\%$: 0.70</p> <p>ErP status: EuP Standalone/Prod.</p> <p>Net weight: 11.5 kg</p> <p>Gross weight: 13.3 kg</p> <p>Shipping volume: 16.3 m³</p>

- Bomba de circulación de fluido térmico

Qty.	Description
	<p>GRUNDFOS </p> <p>Company name: ICAI Created by: Phone: Date: 07/07/2020</p>
	<p>Pressure rating for connection: PN 16 Flange size for motor: FT115</p> <p>Electrical data: Motor standard: IEC Motor type: 90SE IE Efficiency class: IE3 Rated power - P2: 1.5 kW Power (P2) required by pump: 1.5 kW Mains frequency: 50 Hz Rated voltage: 3 x 200-220D/346-380Y V Rated current: 6,00-5,85/3,45-3,40 A Starting current: 880-990 % Cos phi - power factor: 0.86-0.80 Rated speed: 2910-2930 rpm Efficiency: IE3 84,2% - IE3 84,2% Motor efficiency at full load: 84.2-84.2 % Motor efficiency at 3/4 load: 88.0 % Motor efficiency at 1/2 load: 87.6 % Number of poles: 2 Enclosure class (IEC 34-5): 55 Dust/Jetting Insulation class (IEC 85): F Motor No: 99540165</p> <p>Controls: Frequency converter: NONE</p> <p>Others: Minimum efficiency index, MEI $\Delta\% \backslash$: 0.70 Net weight: 46 kg Gross weight: 49 kg Shipping volume: 0.094 m³</p>

