



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**INSTALACIÓN DE PLACAS SOLARES
FOTOVOLTAICAS Y TÉRMICAS PARA AHORRO
DE CONSUMOS EN UN CENTRO COMERCIAL**

Autor: Pedro Juan Pardo Posadas

Director: Luis Javier Mata García

Madrid

Agosto de 2019

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

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

El autor D. PEDRO JUAN PARDO POSADAS

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **INSTALACIÓN DE PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS Y TÉRMICAS PARA AHORRO DE CONSUMOS EN UN CENTRO COMERCIAL**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

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

3º. Condiciones de la cesión y acceso

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

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

4º. Derechos del autor.

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

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

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

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

intereses a causa de la cesión.

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

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

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

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

Madrid, a 26 de Agosto de 2019

ACEPTA

Fdo



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

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**INSTALACIÓN DE PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS Y
TÉRMICAS PARA AHORRO DE CONSUMOS EN UN CENTRO COMERCIAL**
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018-2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Pedro Juan Pardo Posadas

Fecha: 26/ 08/ 2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Luis Javier Mata García

Fecha: 26/ 08/ 2019

MATA GARCIA
LUIS JAVIER -
09793455D

Firmado digitalmente por
MATA GARCIA LUIS
JAVIER - 09793455D
Fecha: 2019.08.27
19:11:34 +02'00'



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**INSTALACIÓN DE PLACAS SOLARES
FOTOVOLTAICAS Y TÉRMICAS PARA AHORRO
DE CONSUMOS EN UN CENTRO COMERCIAL**

Autor: Pedro Juan Pardo Posadas

Director: Luis Javier Mata García

Madrid

Agosto de 2019

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Máster consiste en el diseño de una instalación solar fotovoltaica y de una instalación solar térmica, ambas para ahorro en los consumos energéticos de un centro comercial. Dichas instalaciones se ubicarán en dos cubiertas localizadas en la azotea del mencionado centro.

El centro comercial en cuestión se encuentra localizado en la localidad de Arroyo de la Encomienda, en la provincia de Valladolid, España. Para el cálculo de los ahorros energéticos esperados para cada instalación solar se ha tenido en cuenta la radiación solar esperada en dicha ubicación geográfica, así como la latitud terrestre de dicho lugar.

Antes de comenzar con los objetivos cumplidos con este Trabajo de Fin de Máster conviene en este punto describir las características básicas del centro comercial en donde se pretenden instalar los paneles solares.

El centro cuenta con dos plantas y dos cubiertas. En la planta baja se encuentran los locales comerciales. El área de estos locales es de 34.002 metros cuadrados. Además de estos locales, la planta baja cuenta con una galería (esto es, los pasillos que unen los centros comerciales y por donde circula la gente), que tiene un área de 6.297 metros cuadrados.

En la planta superior se encuentra una sala de cine y diversos locales que se utilizan con otros fines que no son estrictamente comerciales. Estos locales suelen ser almacenes, cuartos de maquinaria, vestuarios, etc. La primera planta también cuenta con una galería para que circulen las personas. Este conjunto de pasillos cuenta con un área de 1.657 metros cuadrados.

En las cubiertas que constituyen la azotea es donde se situarán las mencionadas instalaciones solar fotovoltaica y solar térmica.

Como ya se ha explicado, el objetivo del proyecto es el ahorro en los consumos energéticos de un centro comercial. Sin embargo, y para ser más específicos, los objetivos concretos que se han perseguido con cada instalación no son exactamente los mismos.

En el caso de la instalación solar fotovoltaica, el objetivo que se ha perseguido es conseguir que dicho campo solar aporte en torno a un 40% del consumo energético total del centro comercial. Se ha establecido este valor como referencia debido a las limitaciones de espacio de la cubierta y también para no diseñar una instalación demasiado cara que requiera un desembolso inicial demasiado grande. Este consumo total incluye la energía destinada a iluminación, sistema de climatización y otros consumos.

Por otro lado, en el caso de la instalación solar térmica lo que se ha pretendido es que esta sirva de apoyo para el sistema de climatización de una de las dos plantas con las que cuenta el centro comercial. En concreto, se pretende que dicha instalación aporte agua caliente al sistema de calefacción durante los meses de primavera, otoño e invierno. De la misma forma que como ocurría con la instalación solar fotovoltaica, se ha fijado como referencia un ahorro del 30% del consumo anual en calefacción para esta planta del centro comercial.

En los siguientes párrafos se incluye una descripción detallada de las distintas partes que forman el presente Trabajo de Fin de Máster.

En primer lugar, se incluye una memoria descriptiva del proyecto. En ella se habla de los antecedentes de estos tipos de tecnología solar, así como de otros tipos de energías renovables. También se mencionan las motivaciones del proyecto, tales como la tendencia actual a sistemas de generación distribuida y el uso de tecnologías no contaminantes.

También se mencionan los objetivos concretos de cada una de las instalaciones que se han diseñado, al igual que el emplazamiento del proyecto y sus características (tanto las geográficas como las del centro comercial).

Por último, en la memoria descriptiva se describe con todo detalle cada una de las instalaciones diseñadas en el proyecto. Se incluyen las características de cada uno de los componentes que forman cada instalación diseñada. Por ejemplo, de la instalación solar fotovoltaica: los paneles, el inversor, los soportes, las cajas de conexiones y el cableado elegido.

Seguidamente, se muestra el pliego de condiciones que se ha seguido en este proyecto. En concreto, y dado que se han diseñado dos tipos distintos de instalaciones, se han incluido dos pliegos de condiciones. Los dos han sido elaborados por el IDAE, uno para instalaciones fotovoltaicas y otro para instalaciones térmicas.

Después se ha incluido el apartado presupuesto. En él se detalla el presupuesto estimado para acometer sendos proyectos solares. Se ha desglosado el presupuesto en elementos necesarios para acometer cada uno de los proyectos. Por último, en este apartado, se ha incluido un análisis de viabilidad económica de cada uno de los dos proyectos por separado, calculando índices financieros importantes tales como el VAN, la TIR y el periodo de retorno.

A continuación se muestran los planos del proyecto. En concreto se han incluido tres: plano general de situación, plano de la cubierta para las placas fotovoltaicas y plano de la cubierta para las placas térmicas.

Y, por último, se incluyen unos Anexos entre los que se encuentran los procesos que se han utilizado ayudándose de la herramienta Excel para elegir los paneles solares fotovoltaicos y térmicos (modelos, cantidad, disposición, ahorro energético conseguido...), así como la bibliografía empleada.

Palabras clave: energía solar, placas solares fotovoltaicas, placas solares térmicas, centro comercial, ahorro energético.

ABSTRACT

This Master's Degree Thesis consists on the design of a photovoltaic solar installation and a solar thermal installation, both for savings in the energy consumption of a shopping center. These facilities will be located on two small roofs located on the main roof of the aforementioned centre.

The shopping center is located in the town of Arroyo de la Encomienda, in the province of Valladolid, Spain. For the calculation of the expected energy savings for each solar installation, the expected solar radiation at that geographical location has been taken into account, as well as the earth's latitude of that location.

Before starting with the objectives achieved with this Master's Degree Thesis it is advisable at this point to describe the basic characteristics of the shopping center where the solar panels are intended to be installed.

The center has two floors and two decks. On the ground floor are the commercial premises. The area of these premises is 34,002 square meters. In addition to these premises, the ground floor has a gallery (that is, the corridors that link the shopping centers and where people circulate), which has an area of 6,297 square meters.

On the upper floor there is a cinema room and various premises that are used for other purposes that are not strictly commercial. These premises are usually warehouses, machinery rooms, changing rooms, etc. The first floor also has a gallery for people to circulate. This set of corridors has an area of 1,657 square meters.

On the roof is where the aforementioned solar photovoltaic and solar thermal installations will be located.

As already explained, the objective of the project is to save on the energy consumption of a shopping center. However, and to be more specific, the specific objectives that have been pursued with each installation are not exactly the same.

In the case of solar photovoltaic installation, the objective that has been pursued is to get this solar field to contribute around 40% of the total energy consumption of the shopping center. This value has been set as a reference due to roof space limitations and also not to design an overly expensive installation that requires too large an initial outlay. This total consumption includes energy for lighting, air conditioning system and other consumption.

On the other hand, in the case of solar thermal installation what has been intended is that it will support the air conditioning system of one of the two floors. In particular, this

facility is intended to provide hot water to the heating system during the spring, autumn and winter months. In the same way as with solar photovoltaic installation, a 30% savings in annual heating consumption for this mall plant has been set as a reference.

The following paragraphs provide a detailed description of the different parts that make up this Master's Degree Thesis.

First, a descriptive memory of the project is included. It talks about the background of these types of solar technology, as well as other types of renewable energy. Project motivations are also mentioned, such as the current trend towards distributed generation systems and the use of non-polluting technologies.

The specific objectives of each of the facilities that have been designed, as well as the location of the project and its characteristics (both geographical and those of the shopping centre) are also mentioned.

Finally, the descriptive memory describes in detail each of the installations designed in the project. The characteristics of each of the components that make up each designed installation are included. For example, solar photovoltaic installation: panels, inverter, brackets, protection boxes and wires chosen.

The specifications that have been followed in this project are then displayed. In particular, since two different types of installations have been designed, two specifications have been included. Both have been developed by IDAE, one for photovoltaic installations and one for thermal installations.

Then the budget section has been included. It details the estimated budget for two solar projects. The budget has been broken down into elements needed to undertake each of the projects. Finally, this section includes an economic feasibility analysis of each of the two projects separately, calculating important financial indexes such as the NPV, the IRR and the payback period.

The project plans are shown below. In particular, three have been included: general situation plane, cover plane for photovoltaic panels and cover plane for thermal panels.

And finally, there are annexes that include the processes that have been used with the Excel tool to choose the photovoltaic and thermal solar panels (models, quantity, disposition, energy savings achieved...), as well as the bibliography used.

Keywords: solar energy, solar photovoltaic panels, solar thermal panels, shopping center, energy savings.

ÍNDICE

1. MEMORIA.....	13
1.1. Introducción y antecedentes.....	15
1.1.1. Introducción.....	15
1.1.2. Antecedentes	18
1.1.2.1. Energías renovables.....	19
1.1.2.2. Biocombustibles.....	20
1.1.2.3. Biomasa.....	20
1.1.2.4. Energía eólica.....	21
1.1.2.5. Energía hidráulica.....	22
1.1.2.6. Energía geotérmica.....	23
1.1.2.7. Energía del mar.....	24
1.1.2.8. Energía solar.....	25
1.1.3. Tipos de instalaciones solares.....	26
1.1.3.1. Instalaciones fotovoltaicas.....	32
1.1.3.2. Instalaciones térmicas.....	38
1.1.4. Elementos de instalaciones solares fotovoltaicas y térmicas.....	42
1.2. Objetivos del proyecto	50
1.2.1. Objetivos de la energía solar fotovoltaica.....	50
1.2.2. Objetivos de la energía solar para ACS	51
1.3. Descripción del proyecto	52
1.3.1. Emplazamiento	52
1.3.2. Criterios de decisión de los paneles.....	54
1.3.2.1. Tecnología de la energía solar fotovoltaica.....	54
1.3.2.2. Tecnología de la energía solar térmica.....	56
1.4. Instalación solar fotovoltaica.....	59
1.4.1. Consideraciones.....	59
1.4.2. Componentes de la instalación solar fotovoltaica.....	59
1.4.2.1. Captadores solares e Inversor	59
1.4.2.2. Caja de conexiones y protecciones.....	68
1.4.2.3. Cableado.....	70
1.4.2.4. Soportes	71
1.5. Instalación solar térmica	73
1.5.1. Consideraciones.....	73
1.5.2. Componentes de la instalación solar térmica.....	73
1.5.2.1. Captadores solares	73
1.5.2.2. Depósitos	77
1.5.2.3. Tuberías y bombas	78
1.5.2.4. Intercambiador	80
1.5.2.5. Sistema de control	81
2. Pliego de condiciones.....	83
2.1. Pliego de condiciones para la instalación solar fotovoltaica	86
2.2. Pliego de condiciones para la instalación solar térmica	89
3. Presupuesto.....	93
3.1. Instalación solar fotovoltaica.....	95
3.2. Instalación solar térmica	96
3.3. Presupuesto total	97
3.4. Estudio de viabilidad económica	98

4. Planos	105
5. Anexos.....	115
5.1. Elección de los paneles solares térmicos.....	116
5.2. Estudio sobre seguridad y salud	126
5.3. Bibliografía.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mix Energético en España 2018 (fuente: Diario Renovables).

Figura 2.- Porcentaje de generación renovable sobre la generación total en España 2011-2018 (fuente: Diario Renovables).

Figura 3.- Uso de energía solar pasiva para aprovechamiento de luz solar como iluminación natural (Fuente: Soluciones Especiales).

Figura 4.- Energía solar de torre central (Fuente: Fuentes de energías renovables).

Figura 5.- Energía híbrida - fotovoltaica y eólica (Fuente: Hogarsense).

Figura 6.- Instalación solar fotovoltaica (Fuente: STI Norland).

Figura 7.- Panel solar térmico (Fuente: Insene Energía).

Figura 8.- Funcionamiento de energía solar térmica en una vivienda (Fuente: Fuentes de energías renovables).

Figura 9.- Instalación solar térmica de circuito abierto (Fuente: Obremo).

Figura 10.- Instalación solar térmica de circuito cerrado (Fuente: Obremo).

Figura 11.- Esquema de instalación solar fotovoltaica conectada a red (Fuente: Hectevi Energías).

Figura 12.- Esquema de instalación solar fotovoltaica aislada (Fuente: Hectevi Energías).

Figura 13.- Esquema de instalación solar térmica de circuito cerrado (Fuente: Fuentes de Energías Renovables).

Figura 14.- Provincia de Valladolid en mapa de España (Fuente: Wikipedia, la Enciclopedia Libre).

Figura 15.- Mapa de radiación solar en España (Fuente: Código Técnico de la Edificación).

Figura 16.- Curvas características de paneles solares fotovoltaicos (Fuente: Energetika).

Figura 17.- Comparativa de dos colectores solares térmicos.

Figura 18.- Características técnicas del cable para instalación solar fotovoltaica.

Figura 19.- Esquema de instalación solar fotovoltaica.

Figura 20.- Cálculo del óptimo número de paneles solares térmicos.

Figura 21.- Necesidades energéticas en calefacción y cobertura aportada por las placas solares térmicas.

Figura 22.- Ficha técnica del depósito para instalación solar térmica.

Figura 23.- Bomba para instalación solar térmica.

Figura 24.- Intercambiador de calor para la instalación solar térmica.

Figura 25.- Sistema de control para la instalación solar térmica.

Figura 26.- Hoja de cálculo de flujos de caja para instalación solar fotovoltaica.

Figura 27.- Hoja de cálculo de flujos de caja para instalación solar térmica.

Figura 28.- Datos de entrada de ubicación y tipo de instalación para el programa de instalación fotovoltaica.

Figura 29.- Modelos de paneles solares fotovoltaicos a comparar.

Figura 30.- Producción estimada de energía generada por la instalación solar fotovoltaica.

Figura 31.- Ventana que utiliza el usuario para ir modificando el número de paneles conectados en serie y en paralelo.

Figura 32.- Características técnicas del inversor elegido.

Figura 33.- Datos geográficos y climatológicos para la elección de los paneles solares térmicos.

Figura 34.- Modelo de placas solares térmicas a comparar.

Figura 35.- Detalle de la herramienta Excel para comparar los distintos modelos disponibles atendiendo a sus curvas de rendimiento.

Figura 36.- Necesidades energéticas de calefacción del centro comercial desglosadas por meses.

Figura 37.- Datos relativos a las necesidades del sistema de calefacción.

Figura 38.- Ahorro energético en calefacción gracias a la instalación solar térmica.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características técnicas de las cajas de protección para la instalación solar fotovoltaica.

Tabla 2.- Características técnicas de los paneles solares fotovoltaicos.

Tabla 3.- Características técnicas de los paneles solares térmicos.

Tabla 4.- Características técnicas de la bomba para instalación solar térmica.

Tabla 5.- Características técnicas del intercambiador de calor para la instalación solar térmica.

Tabla 6.- Presupuesto para la instalación solar fotovoltaica.

Tabla 7.- Presupuesto para la instalación solar térmica.

Tabla 8.- Presupuesto total.

Tabla 9.- Resultados económicos instalación fotovoltaica.

Tabla 10.- Resultados económicos instalación térmica.

Tabla 11.- Datos de entrada compartidos para la comparación de modelos de placas solares térmicas.

Tabla 12.- Resultados de la comparación de modelos de placas solares térmicas.

Tabla 13.- Resultados de la comparación de modelos de placas solares térmicas ordenados según el ahorro conseguido.

Tabla 14.- Características del modelo de placas solares térmicas elegido.

1. MEMORIA

1.1. Introducción y antecedentes

El presente Trabajo de Fin de Máster consiste en el diseño de una instalación de placas solares fotovoltaicas y térmicas. Con el objetivo de situar en un contexto adecuado al lector, se incluye esta sección titulada “1.1. Introducción y antecedentes”.

Dicha sección está compuesta de los siguientes elementos:

- **Introducción:** En ella se incluyen descripciones de elementos básicos para entender el documento tales como energía o energía eléctrica. Del mismo modo, se incluye una breve descripción de la situación actual del sector energético en España, así como de sus tendencias más relevantes.
- **Antecedentes:** En este apartado se describen brevemente las distintas tecnologías de las que se ha servido el ser humano para producir energía y poder así satisfacer sus necesidades. Dado que los paneles solares y fotovoltaicos son tecnologías renovables, se hará especial hincapié en este tipo de energías.
- **Tipos de instalaciones solares:** Una vez descritas las distintas fuentes de energía renovables y habiendo especificado que la que ocupa a este Trabajo de Fin de Máster es la energía solar, se describen en este apartado las principales tecnologías que utilizan energía solar.
- **Elementos de instalaciones solares fotovoltaicas y térmicas:** Tras describir los distintos tipos de instalaciones solares existentes, especificar que las que se van a utilizar en el diseño de la instalación que ocupa a este Trabajo de Fin de Máster son instalaciones fotovoltaicas y térmicas, se describen en este apartado los principales elementos que componen a estos tipos de instalaciones solares.

A continuación, se desarrollan los apartados previamente descritos.

1.1.1. Introducción

Tal y como se ha explicado previamente, en este apartado se incluyen definiciones de términos básicos tales como energía o energía eléctrica. También se describe el panorama actual de consumo energético en España, así como sus tendencias más relevantes.

En primer lugar, se describe lo que se conoce como energía. Según la Real Academia de la Lengua Española [1], el término energía se define como la capacidad para realizar un trabajo, y se mide en Julios. Profundizando más, se puede decir que dicha capacidad para

realizar un trabajo es fundamentalmente consecuencia de alguno de los siguientes tres elementos: constitución (energía interna), movimiento (cinética) o posición (potencial).

Llevando la explicación al tema que ocupa a este Trabajo de Fin de Máster, se propone ahora una descripción de lo que es la energía eléctrica. La energía eléctrica se obtiene a partir del movimiento de los electrones existentes en el interior de los materiales [2]. Para favorecer dicho movimiento, se utilizan materiales conductores como el cobre o el aluminio (materiales que permiten el movimiento de los mismos con facilidad).

La producción y consumo de energía eléctrica (para producirla se utilizan diversas formas de energía primaria, como por ejemplo la energía potencial del agua por el hecho de estar a una determinada altura) ha experimentado un enorme crecimiento desde principios del siglo XX hasta nuestros días.

Algunos de los motivos de este crecimiento son el hecho de que se pueda producir y transportar fácilmente y a gran escala, o que se pueda transformar fácilmente en otras formas de energía, permitiendo así su uso para iluminación, calefacción o refrigeración entre otros. También se pueden atribuir otros factores de distinta índole a dicho crecimiento energético, como por ejemplo el crecimiento demográfico mundial.

Dado que la instalación solar que se pretende diseñar para este Trabajo de Fin de Máster tendrá lugar en España, resulta oportuno proporcionar información acerca de la situación energética actual en dicho país, así como sus tendencias más relevantes.

En cuanto a la situación actual del sector energético español cabe destacar la siguiente información [3]:

- La demanda de energía en el año 2018 en España fue de 254.074 GWh.
- Del mix energético destacan los siguientes aspectos: la energía nuclear es la gran protagonista generando el 21,4% del total de la demanda. La eólica un 19,8%. El carbón proporcionó en 2018 un 14,5%. Por su parte la hidráulica un 13,7%. Los ciclos combinados un 10,8% y la energía solar un 3%.
- En total, las tecnologías que no emiten gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono supusieron un 61,4% de la generación total.

A continuación, se incluye una figura con los datos previamente expuestos representados de manera gráfica.

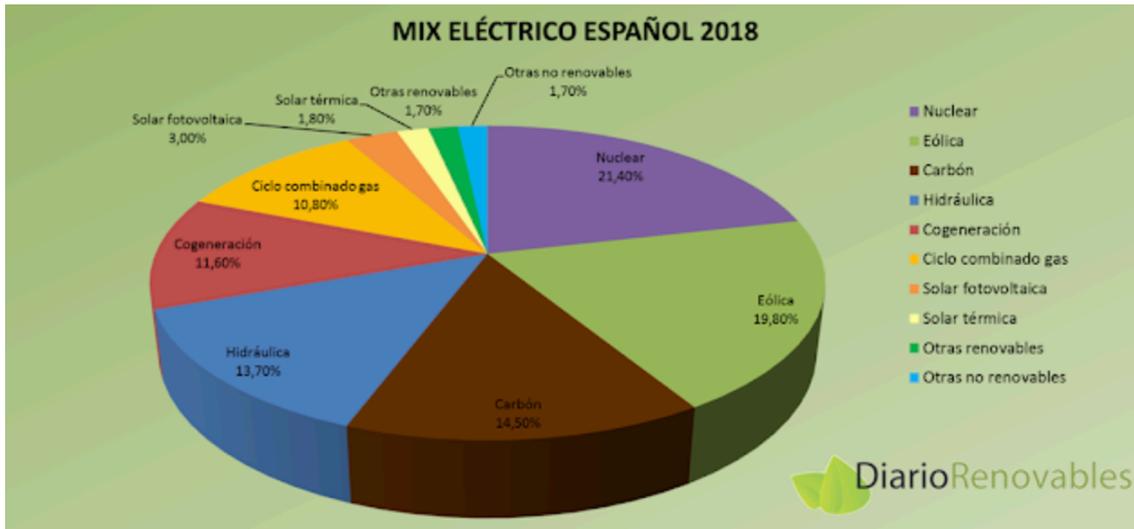


Figura 1.- Mix Energético en España 2018 (fuente: Diario Renovables)

En lo relativo a las tendencias más relevantes del sector energético español caben destacar los siguientes puntos [3]:

- La demanda de energía eléctrica ha subido con respecto al año anterior (2017). Más concretamente, el crecimiento ha sido de un 0,6%.
- En 2018 ha subido la potencia instalada de generación eólica en un 0,5% y de solar fotovoltaica un 0,4%.
- No sólo ha subido la potencia instalada de renovables sino también la producción. Su cuota se sitúa de nuevo entorno a un 40% (siendo su cuarto mejor año).

A continuación, se incluye una figura en la que se muestra el porcentaje de generación renovable sobre la generación total desde el año 2011 hasta el año 2018.



Figura 2.- Porcentaje de generación renovable sobre la generación total en España 2011-2018 (fuente: Diario Renovables)

Como puede apreciarse en la figura de arriba, el porcentaje ha fluctuado entre el 32% y el 42% aproximadamente. Experimentando una fuerte subida entre el año 2017 y 2018. La conciencia mundial sobre el cambio climático, unida a mejoras técnicas en las tecnologías renovables invitan a pensar que esta tendencia seguirá creciendo en el futuro.

1.1.2. Antecedentes

En este apartado se exponen las distintas tecnologías de las que se ha servido el ser humano a lo largo de la historia para satisfacer sus necesidades. Se hará una distinción entre las tecnologías no renovables y renovables, atendiendo especialmente a estas últimas debido al objeto de este proyecto.

Durante milenios, el ser humano se ha servido únicamente de la energía proporcionada por nuestra fuerza muscular. Hace unos quinientos mil años, se descubrió el fuego, hecho que supuso un gran avance para las sociedades del momento. A partir de este momento se empezó a usar la biomasa para proporcionar calor. Más adelante se domesticaron animales permitiendo el uso de su fuerza muscular [4].

Hace unos cinco mil años se comenzó a utilizar el movimiento del aire (viento) y el agua. Un ejemplo claro es la aparición de las primeras embarcaciones propulsadas con velas [4].

Muy importante fue el cambio que se dio a finales del siglo XVIII con la aparición de la máquina de vapor. Es en este punto de la historia cuando comenzó nuestra dependencia

de los combustibles fósiles [4]. Sin embargo, no fue hasta mediados del siglo XIX cuando se explotó de forma masiva el petróleo como forma de energía. Este cambio se produjo gracias al descubrimiento de grandes pozos en Estados Unidos.

Más adelante, durante el siglo XX, se desarrolla la producción de electricidad mediante centrales térmicas e hidroeléctricas. Después del desarrollo de estas tecnologías se han implementados otras, como por ejemplo la energía nuclear.

El hecho de que los combustibles fósiles se pueden agotar unido a su característica contaminante (emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros) han favorecido el uso y crecimiento de las llamadas energías renovables. Los siguientes apartados están dedicados a este tipo de tecnologías, así como a describir las características principales de cada una de ellas.

1.1.2.1. Energías renovables

Como podría deducirse de las explicaciones previas, las energías renovables son aquellas de las que se puede disponer “infinitamente”, es decir no se agotan y a la vez no contaminan. En los siguientes párrafos se proporcionan explicaciones más extensas y rigurosas de estos dos aspectos.

Resulta imprescindible destacar que las tecnologías renovables utilizan como fuentes de energía recursos que son inagotables tales como la luz solar o la energía cinética del viento. Resulta muy importante no olvidar que, a pesar de que estas fuentes de energía son inagotables, no se puede disponer de ellas en todo momento y en la cantidad deseada (de noche no se puede aprovechar la energía solar y lo mismo ocurre con la energía cinética del aire un día en el que no haya viento). Sin embargo, su abundancia y potencial en cualquier parte del mundo hacen de ellas una alternativa deseable frente a otras fuentes de energía no renovables (como los combustibles fósiles).

Las energías renovables constituyen fuentes de energía limpias. Muchos son los factores que las diferencian de los combustibles fósiles (abundancia, diversidad...) pero quizás la característica más relevante es que no producen gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono (responsable en gran medida del cambio climático) [5].

Como último apunte comparativo entre las energías renovables y los combustibles fósiles, se puede decir que los costes de las energías renovables evolucionan a la baja de forma sostenida mientras que, los costes relacionados con la producción de energía a partir de combustibles fósiles, presenta una tendencia opuesta [5].

En los siguientes apartados se exponen breves descripciones de los principales tipos de energías renovables existentes en la actualidad. Estas son: Biocombustibles, Biomasa, Energía Eólica, Energía Hidráulica, Energía Geotérmica, Energía Mareomotriz y Energía Solar.

1.1.2.2. Biocombustibles

Los biocombustibles se consideran una fuente de energía renovable debido a que su uso implica una importante reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Comparados con otros combustibles convencionales, las emisiones producidas por el uso de estos combustibles son mucho menores.

Además, también resulta importante el hecho de que los componentes necesarios para obtener dichos biocombustibles se alimentan precisamente de las emisiones de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono. Este hecho hace que los biocombustibles cumplan con los requisitos para ser considerados como energía renovable.

Los biocombustibles contienen derivados de biomasa (organismos recientemente vivos). En la actualidad los biocombustibles proceden frecuentemente del trigo o maíz [6].

Como se ha explicado anteriormente, estos organismos utilizan en sus procesos metabólicos gases de efecto invernadero (dióxido de carbono) absorbiéndolos y, por tanto, reduciendo las emisiones de dichos gases a la atmósfera [6].

Actualmente existen legislaciones en Europa y Estados Unidos que exigen a los proveedores de carburantes mezclar combustibles convencionales con biocombustibles con el objetivo de reducir emisiones de efecto invernadero. España no está exenta de dichas legislaciones y los proveedores de combustibles (por ejemplo, la compañía BP) actualmente mezclan dichos productos con una tasa mínima de biocombustibles.

1.1.2.3. Biomasa

Se puede definir la biomasa como aquella materia orgánica que de alguna manera puede ser utilizada como fuente de energía. El término biomasa engloba un conjunto de material orgánico que puede clasificarse atendiendo a distintos criterios. Por ejemplo, la biomasa puede clasificarse atendiendo a su composición (grado de homogeneidad), a su naturaleza o a su origen [7].

Gran parte de la biomasa puede clasificarse como material agrícola o forestal (madera, follaje de los árboles, restos de procesos agrícolas...). Otros elementos, que contienen material orgánico, como por ejemplo las aguas residuales o lodos son considerados como biomasa.

El material que conforma cualquier tipo de biomasa se origina a través de un proceso biológico. Dicho proceso puede ser natural (se produce de manera espontánea) o puede ser inducido.

En general, se habla de biomasa como energía renovable porque las emisiones producidas al usar dicha fuente de energía a su vez son absorbidas por dicha fuente. Considérese el caso de la combustión de madera para producir calos. Bien es cierto que uno de los productos de dicha combustión será dióxido de carbono (gas de efecto invernadero), sin

embargo, este gas será absorbido por otras plantas que, a su vez, en un futuro podrán ser usados como biomasa.

El proceso de captación de energía comienza con la absorción de la energía solar por parte de los vegetales al realizar la fotosíntesis. Dicha energía se transforma en energía química. Esta energía es finalmente aprovechada para producir calor o electricidad siguiendo uno de los siguientes procesos: combustión, digestión anaerobia, pirolisis o gasificación [7].

Para concluir este apartado se presentan a continuación las cuatro principales ventajas que presenta este recurso energético en comparación con otras técnicas [7].

- Como ya se ha adelantado, se trata de una fuente de energía renovable (emisiones de dióxido de carbono absorbidas por las propias plantas).
- En algunos casos, transforma residuos (por ejemplo, desechos de procesos agrícolas) en recursos.
- Favorece la limpieza forestal, reduciendo el riesgo de incendios.
- En muchos casos se obtienen resultados energéticos parecidos a otras técnicas a un precio mucho menor.

1.1.2.4. Energía eólica

La energía eólica proviene del movimiento del aire, es decir, del viento. La energía cinética del viento es captada por aerogeneradores. Las palas de dichos aerogeneradores están diseñadas para tal fin, transformando dicha energía en electricidad gracias a un conjunto palas-alternador.

La energía eólica es uno de los recursos explotados desde hace más tiempo. Hoy por hoy, es la tecnología renovable más desarrollada y eficiente. A continuación, se exponen las ventajas que presenta esta tecnología en comparación con otras [8].

- Se trata de una energía renovable. No se agota y no produce residuos (no produce gases contaminantes, ni gases de efecto invernadero, ni contamina otros recursos como por ejemplo el agua).
- Dado que se trata de una energía autóctona y cuya “materia prima” existe en todo el planeta, contribuye a reducir la dependencia y las importaciones energéticas.
- Genera empleo local y favorece el desarrollo sostenible.

Actualmente la energía eólica satisface un 3% del consumo mundial y se espera que para el año 2040 dicha tecnología sirva para generar un 9% del consumo total y un 20% del consumo en Europa [8].

Más concretamente, en España la energía eólica ha servido para satisfacer casi un 20% de la demanda total en el año 2018. Este dato refleja claramente el hecho de que España ha sido y sigue siendo pionera en el desarrollo de esta tecnología.

1.1.2.5. Energía hidráulica

La energía hidráulica utiliza la energía potencial y cinética del agua para producir electricidad. En algunos casos, primero se almacena agua a determinada altura (energía potencial) para después liberarla y hacerla fluir (energía cinética) moviendo unas turbinas que finalmente generan electricidad. En otros casos, directamente se utiliza la energía cinética del agua fluyendo en la naturaleza para generar electricidad sin realizar ningún almacenamiento previo [9].

De hecho, las grandes presas que se construyen para almacenar enormes volúmenes de agua, son consideradas energías no renovables, pues el impacto medioambiental que generan es muy grande.

Explicado lo anterior, se centra la explicación a partir de este punto en las denominadas centrales minihidráulicas. Este tipo de centrales se caracteriza precisamente por tener un bajo impacto medioambiental [9].

Las centrales minihidráulicas aprovechan la energía cinética de corrientes de agua naturales (por ejemplo, los ríos) y de saltos de agua naturales. El agua fluye accionando unas turbinas que, conectadas mediante un dispositivo mecánico a un alternador, producen electricidad.

Cierto es que la generación hidráulica está sujeta a la cantidad de precipitaciones globales de un año dentro del territorio. Se trata en gran medida (ya que la generación de centrales hidráulicas con presa supone la mayor parte de la generación hidroeléctrica) de un recurso intermitente y gestionable sólo en parte.

Es por este motivo por el que la energía hidroeléctrica total generada puede variar mucho de un año a otro. Resulta importante destacar que la generación minihidráulica no está tan sujeta a variaciones climáticas como las centrales con embalse (una central minihidráulica instalada en un río quizás produzca menos energía un año que el año anterior pero la diferencia no será tan grande como en el caso de un embalse ya que el río, en principio, seguirá estando ahí y mantendrá en gran medida su caudal).

Se presentan en este punto datos reales para reflejar dichas diferencias y para mostrar la importancia que tienen estas tecnologías en el mix energético español actual.

En el año 2017 las centrales hidroeléctricas sirvieron para satisfacer un 7,6% de la demanda total. Dentro de este porcentaje, se encuentra la generación de las centrales minihidráulicas, que supusieron un 2% de la generación total [10].

Por su parte, en el año 2018, la generación hidroeléctrica supuso un 13,7% del consumo total.

De la observación de los datos anteriores, nótese como la generación minihidráulica es notablemente menor que la generación hidráulica con presas (2% frente a 5,6%) y como puede cambiar la generación hidráulica de un año respecto de otro (7,6% en 2017 frente a 13,7% en 2018).

1.1.2.6. Energía geotérmica

La energía geotérmica se obtiene del calor existente en el interior de la Tierra. Como primera aproximación y sirviendo para situar al lector en contexto, lo que se hace es aprovechar el calor de la Tierra extrayendo agua y vapor de pozos.

Siendo más rigurosos, y siguiendo la definición que da el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), la energía geotérmica es la energía calorífica proveniente de la tierra que se transmite desde capas más profundas hacia la corteza terrestre [11].

Como puede resultar obvio, no en todos los emplazamientos se puede aprovechar la energía geotérmica de la misma manera. Por ejemplo, para poder extraer agua caliente y después utilizarla para distribuirla a través de una red calor se requiere que la temperatura de dichos depósitos de agua sea moderada. Por otro lado, si lo que se pretende es extraer vapor para posteriormente generar electricidad, es necesario una temperatura mucho mayor.

En la actualidad existen tres tipos de procesos o tecnologías en cuanto a la explotación de este recurso se refiere. Estos procesos son [11]:

- Geotermia poco profunda. Este proceso se caracteriza por presentar bajas temperaturas (no mayores de treinta grados Celsius). Se suele utilizar para calentar viviendas individuales y se emplean tuberías y sondas para captar el calor.
- Geotermia profunda. En este caso las temperaturas son mayores que en el caso anterior, más concretamente, las temperaturas oscilan entre los treinta y noventa grados Celsius. Se utiliza para el aporte energético de redes urbanas. Suelen estar en zonas volcánicas.
- Geotermia muy profunda. En esta técnica las temperaturas de operación superan los ciento cincuenta grados Celsius. Básicamente consiste en la extracción de vapor que, después de sufrir un proceso termodinámico, hace girar una turbina para generar electricidad. Esta técnica todavía se encuentra en una fase experimental.

Como conclusión a este apartado dedicado a la energía geotérmica se enumeran las tres principales ventajas que presenta este tipo de energía renovable [11]:

- Como ya se ha mencionado, es una energía renovable y su uso permite un menor impacto medioambiental en comparación con el uso de combustibles fósiles.

- Mediante su uso se pueden obtener grandes beneficios económicos en comparación con otras muchas tecnologías.
- La fuente energética se puede gestionar y no presenta el problema de la intermitencia como por ejemplo ocurre con la energía eólica.

1.1.2.7. Energía del mar

Es posible obtener energía de la naturaleza de los mares y océanos de nuestro planeta. Bien es cierto que actualmente sólo una de las técnicas que se exponen a continuación presenta un desarrollo considerable, la energía mareomotriz. Respecto a las otras, se puede decir que aún se encuentran en una fase de perfeccionamiento.

A continuación, se presentan las distintas tecnologías que se pueden utilizar para obtener energía del mar [12]:

- Energía de corrientes. El principio en el que se basa es el aprovechamiento de la energía cinética existente en las corrientes marinas presentes en los océanos. Se utilizan turbinas que se accionan con el movimiento del agua.
- Energía Undimotriz. En este caso lo que se aprovecha es el movimiento de la superficie del mar, es decir, el movimiento de las olas. Hoy en día se están desarrollando diversos sistemas de captación, uno de ellos consiste en la instalación de flotadores que accionan mecanismos para finalmente producir energía.
- Energía Mareomotriz. Esta tecnología es la que se encuentra actualmente más desarrollada. Su principio se basa en el aprovechamiento del movimiento de grandes masas de agua debido a las mareas (pleamar y bajamar). Se almacena el agua en embalses para finalmente hacerla pasar por turbinas que generan electricidad.
- Energía Maremotérmica. El principio en el que se basa esta tecnología es térmico. Se utiliza el gradiente térmico existente entre la superficie del mar y las aguas que se encuentran a mucha profundidad. Gracias a este gradiente térmico y utilizando un ciclo de Rankine, se transforma la energía térmica en energía eléctrica.
- Energía del gradiente salino. En este último caso lo que se utiliza es la diferencia entre las concentraciones de sal de los mares y los ríos. Con estas diferencias de salinidad y a través de procesos de ósmosis se puede finalmente generar energía eléctrica.

1.1.2.8. Energía solar

La energía solar es un tipo de energía renovable que consiste en el aprovechamiento de la radiación solar para la producción de electricidad o energía térmica. Se puede clasificar la energía solar atendiendo a su origen bajo dos nombres distintos. Si la energía es producida por la luz del sol se llama energía fotovoltaica. Si, por el contrario, es producida por el calor del sol entonces se llama energía termosolar [13].

En el caso de la energía fotovoltaica, unos paneles, denominados células fotovoltaicas aprovechan la luz solar para producir electricidad directamente a través de dicho dispositivo que es semiconductor. El principio en el que se basa se llama efecto fotoeléctrico. Se absorben fotones (luz) y se liberan electrones [13].

Por otro lado, en el caso de la energía termosolar, el principio en el que se basa es bien distinto. Se instalan unos colectores solares (existe gran diversidad en el conjunto de estos dispositivos) que básicamente lo que hacen es concentrar el calor del sol muchas veces gracias a la disposición estratégica de espejos. El calor se concentra habitualmente en un fluido que posteriormente se utiliza para transferir el calor que transporta a otros elementos o también para generar electricidad [13].

A continuación, se presentan resumidamente las principales ventajas con las que cuenta la explotación de esta tecnología cuando es comparada con otras tecnologías [13].

- Se trata de una energía renovable. El recurso que utiliza (energía que proviene del sol) no se agota y el uso de esta tecnología no produce efectos contaminantes. Además, se trata de un recurso que está presente en todo el planeta.
- Dado que se trata de una energía autóctona y cuya “materia prima” existe en todo el planeta, contribuye a reducir la dependencia y las importaciones energéticas.
- Es modular e ideal para zonas en las que la instalación de otras tecnologías sería muy difícil o incluso zonas en las que la edificación o la realización de cualquier otra actividad sería costosa.
- Genera empleo local y favorece el desarrollo sostenible.

Actualmente en España la energía solar fotovoltaica supone más o menos un 3% de la generación total [3]. Para concluir este apartado se presenta en lo siguiente información sobre las tendencias futuras del desarrollo de esta tecnología.

Numerosos expertos están de acuerdo en que existe una tendencia hacia sistemas eléctricos en los que la generación esté distribuida. Esto es, en un futuro, habrá numerosos puntos en las redes que serán tanto generadores como consumidores de energía. Más concretamente, en un futuro numerosas viviendas contarán con placas solares en las azoteas que sirvan tanto para abastecer necesidades propias, como para vender la energía en caso de excedente.

Teniendo en cuenta lo anterior, y el hecho de que el funcionamiento del mercado eléctrico español se basa en la teoría marginalista (toda la energía transada a un precio que fija las unidades con mayor coste de combustible) [14], la inversión en energía solar dejará de ser rentable.

La explicación de lo anterior radica en el hecho de que la generación solar tiene coste variable cero. Por tanto, cuando haya generación solar, esta tecnología desplazará a las otras, que tienen un coste variable mayor, reduciendo el precio de mercado para esas franjas horarias [14].

Como consecuencia de ello, y bajo reglas de mercado, un estudio basado en modelos de simulación [14], las inversiones en instalaciones solares dejarán de ser rentables a partir de cierto nivel de penetración de este tipo de instalaciones [14].

El citado estudio basa su explicación en lo que ocurre actualmente en el estado de Texas, Estados Unidos. Actualmente dicha región cuenta con niveles de penetración de la energía solar cercanos al 35%. El precio de mercado durante las horas de sol cae por debajo de los niveles necesarios para poder asegurar una rentabilidad suficiente para los inversores de esta tecnología [14].

Sin embargo, existe un futuro mucho más esperanzador para esta tecnología del que pudiera parecer según lo mencionado anteriormente. Con el objetivo en España de llegar a un sistema de generación en 2050 que no produzca emisiones de dióxido de carbono, se está apostando por el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (baterías) [14].

El estudio mencionado concluye que, con un sistema de generación distribuida (paneles solares y fotovoltaicos) combinado con un buen sistema de baterías, se puede reducir enormemente el coste total del sistema haciendo que la tecnología solar, a pesar de presentar eventualmente grandes niveles de penetración en el sistema, siga siendo rentable para los inversores [14].

El estudio en el que se basa esta explicación ha sido realizado en conjunto por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) y por el IIT (Instituto de Investigación Tecnológica). Dicho estudio que aún queda camino por recorrer para alcanzar la situación descrita anteriormente.

Para que las tecnologías solares sigan siendo rentables a pesar de presentar elevados niveles de penetración, además de la instalación de baterías, se requiere que el sistema sea fiable y las redes sean más flexibles de lo que son actualmente [14].

1.1.3. Tipos de instalaciones solares

Dado que este proyecto consiste en la instalación de dispositivos para la captación de energía solar, se incluye este apartado describiendo los principales tipos de instalaciones solares.

Como ya se ha adelantado, en la actualidad existen distintas tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar. Algunas de ellas se encuentran más desarrolladas que otras. Cada una de ellas presenta sus ventajas e inconvenientes cuando se las compara con las demás.

Además, cada tipo de tecnología cuenta con distintos subtipos. Esta clasificación dentro de cada tipo de tecnología suele aparecer por aspectos de diseño más que por el principio físico en el que se basan.

Por ejemplo, dentro de la energía solar fotovoltaica podemos encontrar instalaciones con paneles fijos, instalaciones con paneles con un sistema de seguimiento de un eje o instalaciones con paneles con sistema de seguimiento a dos ejes. Como puede deducirse, y como se verá más adelante, la diferencia radica en cómo los paneles cambian su orientación (o no la cambian en absoluto) para aprovechar al máximo la energía solar.

Al igual que ocurre con los distintos tipos de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, dentro de cada tecnología, los distintos subtipos presentan ciertas ventajas e inconvenientes cuando son comparados con otros subtipos de la misma categoría.

Siguiendo con el ejemplo anterior, si alguien compara instalaciones solares fotovoltaicas con seguimiento a un eje con instalaciones solares fotovoltaicas con seguimiento a dos ejes, verá que en el primer caso el rendimiento solar obtenido es menor, pero, por otro lado, el coste de la instalación es menor.

A continuación, se exponen los distintos tipos de tecnologías para la captación de la energía solar que existen en la actualidad. Para cada tipo se incluye una descripción y, en caso de contar con distintos subtipos, se describen también estos. Por último, se incluyen fotografías de instalaciones para ayudar al lector a hacerse una idea mental del aspecto que tienen las instalaciones de los distintos tipos [15].

- **Energía solar pasiva.** Este tipo de tecnología se caracteriza por aprovechar la energía solar sin utilizar otros mecanismos o dispositivos mecánicos. Bien es cierto que este tipo de instalaciones muchas veces cuentan con otros dispositivos como por ejemplo relés o dispositivos para abrir o cerrar compuertas, pero el consumo de estos puede considerarse despreciable.

La energía solar pasiva aprovecha la energía solar directamente, esto es, sin transformarla en otro tipo de energía en un paso previo a su utilización. Por ejemplo, la energía solar fotovoltaica transforma la energía solar en energía eléctrica o la energía solar térmica la transforma en energía en energía térmica antes de ser utilizada.

Este tipo de tecnología sirve para calentar interiores, suavizar cambios de temperatura del aire a través del uso de una masa con inercia térmica o simplemente para aprovechar más y/o durante más horas la luz natural del sol y poder así beneficiarse de cierto ahorro energético. La siguiente figura muestra el uso de esta tecnología con el último fin descrito.



Figura 3.- Uso de energía solar pasiva para aprovechamiento de luz solar como iluminación natural (Fuente: Soluciones Especiales).

- Energía solar termoeléctrica. Este tipo de tecnología solar utiliza un aceite térmico calentado hasta altas temperaturas para producir electricidad. Dicho fluido se encuentra trabajando en un ciclo termodinámico.

Más concretamente, lo que utiliza la energía solar termoeléctrica son lentes y/o espejos para poder así concentrar la energía solar sobre una superficie en la que se encuentra dicho fluido de trabajo. Más adelante, el fluido pasa por una turbina que a su vez se encuentra acoplada a un generador para finalmente producir electricidad.

En la actualidad existen tres subtipos dentro de esta tecnología solar. A continuación, se describen brevemente dichos tipos.

El primer subtipo lo constituyen las denominadas centrales de torre. Esta configuración básicamente consiste en un conjunto de espejos y reflectores que concentran la radiación solar sobre una superficie pequeña situada en lo alto de una torre.

El segundo subtipo está formado por los llamados colectores cilindro-parabólicos. Estos dispositivos consisten en unos reflectores con forma de parábola por los que circula el fluido de trabajo a través de una tubería situada en su línea focal. Los citados reflectores actúan de colectores de la radiación solar, haciéndola incidir sobre dicha tubería.

El tercer y último subtipo lo forman los denominados generadores solares disco-parabólicos. Estos últimos consisten en uno o varios reflectores parabólicos, pero en este caso con forma de disco. Este subtipo se parece mucho al anterior pues

también concentran la energía solar sobre la línea focal del disco. Como puede deducirse, por la línea focal se hace circular el fluido de trabajo.

Para terminar con este apartado en el que se ha descrito la energía solar termoeléctrica, se expone a continuación una imagen en la que se ilustra la energía solar termoeléctrica de centrales de torre.



Figura 4.- Energía solar de torre central (Fuente: Fuentes de energías renovables).

- Energía solar híbrida. En este caso lo que se hace es combinar la energía solar con otras tecnologías de muy diversa índole. Por ejemplo, se puede combinar una instalación solar con generadores diésel para satisfacer las necesidades energéticas de un grupo de viviendas. Otro ejemplo muy común para este tipo de tecnología es la combinación de energía solar con energía eólica.

Como puede deducirse, las posibilidades de diseño para este tipo de tecnología son muy diversas, lo que constituye una de sus principales ventajas. Más concretamente, los sistemas de energía solar combinada con energía eólica presentan la ventaja de que habitualmente cuando una de las dos fuentes (sol y viento) se encuentra produciendo poca energía, la otra fuente suele encontrarse en niveles altos de producción.

A continuación, se presenta un detalle de una instalación del subtipo anteriormente mencionado, energía solar fotovoltaica combinada con energía eólica.



Figura 5.- Energía híbrida - fotovoltaica y eólica (Fuente: Hogarsense).

- Energía solar fotovoltaica. Como ya se ha explicado con anterioridad, este tipo de tecnología utiliza la luz solar para producir directamente electricidad. Gracias a la naturaleza de determinados materiales se puede producir electricidad a partir de los fotones que emite el sol.

Se construyen e instalan los denominados paneles fotovoltaicos que están formados por este tipo de materiales. La localización de estos paneles, así como su orientación y los sistemas de seguimiento solar que pueden incluir, resultan ser factores críticos a la hora de diseñar este tipo de instalaciones.

Como el objetivo de este proyecto es la instalación de paneles fotovoltaicos en la azotea de un centro comercial para aprovechar la energía que producen y poder así ahorrar en la factura de la luz, este tipo de tecnología se describe y explica con mayor profundidad en los siguientes apartados.

A continuación, se muestra una figura que ilustra una instalación fotovoltaica.



Figura 6.- Instalación solar fotovoltaica (Fuente: STI Norland).

- Energía solar térmica. Básicamente este tipo de tecnología lo que hace es captar el calor que emite el sol y transmitirlo a un fluido. Para ello lo que se hace es el diseño y posterior instalación de los denominados paneles solares térmicos o simplemente colectores térmicos.

El objetivo final de la instalación de los mencionados paneles puede ser de diversa índole. Por ejemplo, se puede utilizar una instalación de este tipo para producir agua caliente sanitaria, apoyar el sistema de calefacción y refrigeración de un edificio, desalinización, secado de productos agrícolas, o incluso para calentar fluidos para su posterior uso a nivel industrial.

Al igual que ocurría con la energía solar fotovoltaica, la localización de estos paneles o colectores, así como su orientación y sistemas de seguimiento solar que pudieran incluir, resultan ser factores críticos a la hora de obtener el diseño óptimo de instalaciones de este tipo.

Como el objetivo de este proyecto es la instalación de paneles solares térmicos en la azotea de un centro comercial para aprovechar la energía que producen y poder así ahorrar en la energía consumida por el sistema de climatización y/o la producción de agua caliente sanitaria, este tipo de tecnología se describe y explica con mayor profundidad en los siguientes apartados.

La siguiente figura muestra una instalación de paneles solares térmicos en la azotea de un edificio para autoconsumo.



Figura 7.- Panel solar térmico (Fuente: Insene Energía).

Los siguientes apartados cubren en mayor profundidad las tecnologías fotovoltaicas y térmicas. Se estructura de esta manera el documento porque, como ya se ha explicado, este tipo de tecnologías son las que ocupan el objeto del proyecto.

El proyecto consiste en la instalación de placas fotovoltaicas y térmicas en la azotea de un centro comercial. El objetivo (que también se desarrollará más en profundidad) es conseguir cierto ahorro energético y, por tanto, económico.

1.1.3.1. Instalaciones fotovoltaicas

Como ya se ha mencionado, la energía solar constituye un tipo de energía de las denominadas renovables. Esto es, la fuente de energía es inagotable y no genera ningún tipo de residuos que resulten nocivos para el medioambiente.

Dentro de las distintas tecnologías existentes en este tipo de energía se encuentra la energía solar fotovoltaica. Como ya se ha explicado también, este tipo de tecnología básicamente lo que hace es transformar la luz solar (fotones) en electricidad.

Esta tecnología está basada en el denominado efecto fotoeléctrico. Esto es, ciertos materiales son capaces de transformar los fotones en una corriente eléctrica. Más concretamente, lo que ocurre es que los átomos de los materiales que forman los paneles reaccionan con los fotones de la luz solar [16].

Actualmente el material más utilizado para formar los paneles solares fotovoltaicos es el silicio que es un material semiconductor. Los paneles solares típicos consisten en una placa de silicio con materiales del tipo P y del tipo N, formando lo que se conoce como una unión P-N.

Los materiales del tipo P se caracterizan por tener más átomos de silicio que electrones. Por el contrario, los materiales del tipo N se caracterizan por presentar más electrones que átomos de silicio.

El efecto fotoeléctrico se basa en crear el movimiento de electrones en un material. Para el caso de uniones P-N, lo que ocurre es que la luz impacta sobre ambos materiales, generando cargas positivas en la capa P y negativas en la capa N. Esta diferencia de cargas crea una diferencia de potencial eléctrico y, eventualmente, una corriente eléctrica.

Resulta conveniente destacar que existen diversos materiales que reaccionan siguiendo este efecto. Sin embargo, no todos reaccionan de la misma manera ante distintas longitudes de onda. El tipo de materiales descrito anteriormente reacciona ante longitudes de onda comprendidas entre las 0,3 μm y las 0,5 μm . El rango de longitudes de onda que inciden sobre la superficie terrestre va de las 0,15 μm a las 0,8 μm . Los materiales semiconductores anteriormente descritos son el tipo de materiales de los que se puede sacar el mayor rendimiento fotovoltaico.

Como últimos datos sobre los materiales semiconductores de silicio para placas fotovoltaicas, se debe señalar que pueden ser de silicio monocristalino o policristalino. Para el primer tipo se consiguen las mayores eficiencias, en torno al 19%, mientras que para las últimas se consiguen eficiencias menores, en torno al 16%, pero presentan la ventaja de ser más baratas [16].

Volviendo a una visión más general de lo que son las instalaciones solares fotovoltaicas, no se debe pasar por alto que dichas instalaciones pueden variar mucho en cuanto a su tamaño. Hay instalaciones fotovoltaicas diseñadas para satisfacer pequeños autoconsumos mientras que también existen grandes plantas diseñadas para satisfacer necesidades energéticas a nivel nacional [16].

A continuación, se presentan las principales ventajas que presenta la energía fotovoltaica frente a otros tipos de energía y también frente a otros tipos de energía solar [16]:

- Es una energía renovable: no se agota y tampoco contamina.
- Se trata de una tecnología muy adecuada para zonas rurales en las que el servicio eléctrico resulta poco accesible o de costosa instalación.
- También resulta ser una tecnología muy adecuada para zonas geográficas que presentan altos niveles de radiación solar a lo largo del año.
- Como ya se adelantaba, resulta ser una tecnología modular. Se pueden construir desde grandes plantas solares hasta pequeñas placas para autoconsumo personal.

Una vez expuestas las principales ventajas de esta tecnología se exponen ahora los distintos tipos de instalaciones solares que existen en la actualidad. Es importante destacar en este punto que se pueden clasificar las distintas instalaciones fotovoltaicas tendiendo a dos criterios diferentes:

- Se pueden clasificar según su conexión a red [16].
- También se pueden clasificar según los sistemas de seguimiento solar que presenten [17].

Atendiendo al primer criterio podemos distinguir los siguientes tipos de instalaciones solares fotovoltaicas [16]:

- Instalaciones que están conectadas a red.

Dentro de este grupo podemos a su vez distinguir dos tipos de instalaciones:

- Centrales fotovoltaicas. Esta clase de instalaciones están conectadas a la red y toda la energía producida se vierte a dicha red. Son grandes instalaciones y su fin es la producción de energía para satisfacer necesidades energéticas a nivel nacional.
- Instalaciones para autoconsumo con generador. En este tipo de instalaciones parte de la energía generada es consumida por el propietario de la instalación (particular) y parte es vertida a la red. Además, cuando el usuario no es capaz de satisfacer su demanda energética sólo con la instalación fotovoltaica, consume energía de la red.

Este tipo de instalaciones, conectadas a la red eléctrica, cuentan con tres elementos principales que son: panel fotovoltaico, inversores y transformadores. El panel produce la corriente eléctrica, los inversores se encargan de transformar la corriente eléctrica continua que producen los paneles en corriente alterna, y los transformadores son los encargados de subir la tensión eléctrica que sale de los inversores desde baja tensión (380V-800V) hasta niveles de media tensión (hasta 36kV).

- Instalaciones no conectadas a red.

Este tipo de instalaciones operan en lo que se denomina como operación en isla. El usuario ni vierte energía a la red ni consume de energía de la misma. Este tipo de instalaciones suelen encontrarse en lugares rurales y de difícil acceso. Dichas instalaciones suelen servir de apoyo para actividades como bombeo de riego, aunque también las hay para el consumo personal de iluminación en el hogar.

Estos sistemas cuentan con dos elementos fundamentales: batería y reguladores. La batería sirve para almacenar la energía producida en periodos en los que la demanda es menor que la generación y poder así usar dicha energía en periodos en los que la demanda supere la generación. Los reguladores, por su parte, se utilizan para evitar que se dañe la batería.

Para que sirva como introducción a la segunda clasificación posible de instalaciones solares fotovoltaicas, se explica a continuación lo que son los sistemas de seguimiento solar con los que cuentan algunas instalaciones solares fotovoltaicas.

Los sistemas de seguimiento solar son, como indica su propio nombre, sistemas que “siguen” el movimiento del sol. Se incluyen en las instalaciones solares fotovoltaicas (paneles solares) unos dispositivos que permiten el movimiento de los paneles para así aprovechar mejor la radiación solar.

Los paneles solares se mueven durante las horas de luz para adoptar la orientación óptima en cada momento y poder así sacar mayor rendimiento a la energía solar que incide sobre la superficie terrestre.

Como es de esperar, cuanto más se parezca la orientación de los paneles a una orientación perpendicular con respecto a los rayos solares, más rendimiento se obtendrá de la radiación solar. El ángulo que con el que los rayos solares impactan sobre el panel se conoce como ángulo de incidencia. Con los sistemas de seguimiento solar se pretende que dicho ángulo sea de 90 grados o, en su defecto, lo más próximo a este valor [16].

Los sistemas de seguimiento solar son más comunes en grandes centrales, instaladas sobre el terreno, y no lo son tanto en instalaciones pequeñas destinadas al autoconsumo como pueden ser los paneles que pueda haber en la azotea de un edificio de viviendas.

Profundizando más en los dispositivos que se utilizan para conseguir dicho objetivo de “seguir” el movimiento del sol cabe señalar que los seguidores pueden ser eléctricos, hidráulicos o de gravedad. Los hidráulicos se utilizan para grandes paneles y los de gravedad presentan la ventaja de no necesitar electricidad, pero el inconveniente de ser menos precisos [16].

También se pueden clasificar los seguidores atendiendo a su sistema de control. Hay sistemas de seguimiento con control automático y también con control manual. Los automáticos suelen contar con un sistema de sensores y los manuales suelen ser apropiados para pequeñas instalaciones.

Una vez explicado lo que es un sistema de seguimiento solar y habiendo hecho una clasificación de los distintos mecanismos de seguimiento, se expone aquí la clasificación de instalaciones fotovoltaicas atendiendo al segundo criterio. Según este, podemos distinguir los siguientes tipos de instalaciones solares fotovoltaicas [17]:

- Instalaciones sin seguimiento solar.

Son el tipo de instalaciones más simples. No cuentan con ningún dispositivo que mueva los paneles tratando de mejorar el ángulo de incidencia. Presentan por supuesto la ventaja con respecto a los otros de ser más baratos y necesitar menos espacio pues el movimiento requiere mayores superficies de instalación.

Lo que se hace es orientar los paneles de la mejor manera posible teniendo en cuenta una serie de factores. El factor más crítico es la latitud terrestre a la que se va a encontrar la instalación.

Como ya se mencionaba suelen ser propios para instalaciones de autoconsumo. Sobre todo, aquellas instalaciones que no se sitúan directamente sobre el terreno, y se encuentra, por ejemplo, en la azotea de un edificio de viviendas.

- Instalaciones con seguimiento solar en un eje.

Este tipo de instalaciones sí que cuenta con un sistema para “seguir” el movimiento del sol. En concreto, los paneles que cuentan con este tipo de sistema, rotan alrededor de un eje. El eje de rotación suele estar alineado con la línea imaginaria que conecta el norte y el sur. Por tanto, el movimiento de los paneles es de este a oeste (siguiendo al sol desde el amanecer hasta el anochecer).

Comparado con las instalaciones con seguimiento solar en dos ejes, estas instalaciones presentan las ventajas de ser más baratas, más simples, requerir menos superficie y la posibilidad de ser adaptadas a su instalación en cubiertas. Por el contrario, presentan el inconveniente de ser menos precisas y, por tanto, producir menos electricidad.

- Instalaciones con seguimiento solar en dos ejes.

Como puede deducirse, después de haberse expuesto las instalaciones con seguimiento solar en un eje, este tipo de instalaciones cuentan con un sistema de seguimiento solar que se basa en el movimiento de los paneles en dos ejes.

De los dos ejes de rotación uno está alineado con la línea imaginaria que conecta el norte y el sur, y el otro está alineado con la línea imaginaria que conecta el este y el oeste.

Estos sistemas permiten aprovechar al máximo la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre (por supuesto teniendo en cuenta el rendimiento de la propia placa).

Como ya se ha mencionado, estos sistemas son más caros que los sistemas de un solo eje, pero también producen más energía a lo largo del año.

Para concluir la clasificación de instalaciones solares con seguimiento solar se describen brevemente las principales ventajas e inconvenientes que presenta el hecho de incluir estos dispositivos de seguimiento en las instalaciones solares fotovoltaicas [17].

El principal beneficio de instalar sistemas de seguimiento se encuentra en el aumento del rendimiento global de la instalación. Se sabe que instalaciones con seguimiento en un eje aumentan el rendimiento entre un 25% y un 35% por el hecho de tenerlo. Si además se tiene seguimiento en otro eje se puede mejorar el rendimiento entre un 5% y un 10% adicional.

Debe tenerse en cuenta también la latitud terrestre en la que se va a encontrar la instalación. Si la latitud es elevada (lejos del ecuador), el rendimiento que se le puede sacar a un sistema de seguimiento en dos ejes puede ser todavía mayor. Esto es así porque la posición del sol en estos lugares varía mucho entre los meses de verano e invierno.

En cuanto a las desventajas debe señalarse que aumentan considerablemente los costes asociados a la instalación y al mantenimiento. Los sistemas de seguimiento requieren la

instalación de piezas adicionales y es por esto motivo por el que aumentan los costes mencionados anteriormente. La otra gran desventaja es que los sistemas de seguimiento solar complican mucho la instalación sobre azoteas. Suelen ser adecuados para instalación sobre terreno fijo [17].

Una vez explicadas las principales ventajas y desventajas derivadas de la instalación de sistemas de seguimiento solares, se incluye ahora una breve explicación acerca de los casos en los que es apropiado su instalación y los casos en los que no.

Como ya se ha mencionado, los sistemas de seguimiento solar aumentan los costes de instalación y mantenimiento, pero a la vez posibilitan extraer más energía del sol a lo largo del año. Sin embargo, también dificultan la instalación en tejados y azoteas por lo que en pequeñas instalaciones para el autoconsumo no suelen estar presentes.

Además, si la ubicación de la instalación está a una elevada latitud, esto es, está lejos del ecuador, un sistema de seguimiento es probable que sea la opción recomendada pues la posición del sol varía mucho a lo largo del año. Por el contrario, si la latitud es baja, es probable que no merezca la pena la instalación de dichos sistemas [17].

Otro factor importante es la potencia que se pretende generar. Para instalaciones de más de 1MW suele ser recomendable instalar sistemas de seguimiento. En estos casos, la mayor cantidad de energía generada gracias al sistema de seguimiento suele compensar el sobre coste asociado a la instalación y al posterior mantenimiento [17].

Para concluir este apartado, se menciona a continuación las características que tendrá la instalación fotovoltaica que se pretende diseñar en este proyecto. Sin embargo, lo que sigue sólo servirá como una primera aproximación a la descripción del proyecto. Las características de la instalación se desarrollarán con mucho más detalle en los apartados siguientes.

La instalación fotovoltaica que se diseña en este proyecto cuenta con las siguientes características:

- Será una instalación conectada a red. No se trata de un lugar remoto y el hecho de que esté conectada a red le dará importantes ventajas como por ejemplo el hecho de poder consumir en periodos de baja generación y el hecho de poder verter energía a la red en caso de excedente (beneficios económicos).
- Será una instalación con sistema de seguimiento solar en un eje. Como la instalación está destinada a satisfacer las necesidades de un centro comercial grande, la potencia instalada será de más de 1MW y, por tanto, compensará diseñar una instalación con sistema de seguimiento. Se hará de un eje y no de dos porque dicha instalación se encontrará en una azotea y no en un terreno fijo.

1.1.3.2. Instalaciones térmicas

Como ya se ha mencionado, la energía solar constituye un tipo de energía de las denominadas renovables. Esto es, la fuente de energía es inagotable y no genera ningún tipo de residuos que resulten nocivos para el medioambiente.

Dentro de las distintas tecnologías existentes en este tipo de energía se encuentra la energía solar térmica. Como ya se ha explicado también, este tipo de tecnología básicamente lo que hace es “recolectar” la energía solar para obtener energía térmica.

La energía solar térmica se basa en el principio de transferencia de calor por radiación. Existen tres formas básicas de transferencia de calor, estas son: conducción, convección y radiación. El sol transmite su energía térmica por radiación y es esta energía la que se pretende aprovechar con esta tecnología [19].

Básicamente lo que hace esta tecnología es absorber la energía solar mediante los llamados paneles térmicos y transmitir dicha energía a un fluido en forma de energía térmica [18].

El fluido de trabajo puede ser agua o, en otros casos, otro tipo de fluido como por ejemplo un fluido anticongelante. Los diferentes usos que se le dan a esta tecnología son muy variados. Sus aplicaciones van desde la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), apoyo a instalaciones de climatización, generación de electricidad, desalinización, hasta el calentamiento a nivel industrial de distintos fluidos [18].

A continuación, se muestra el esquema de una instalación solar térmica en una vivienda para la producción de Agua Caliente Sanitaria.

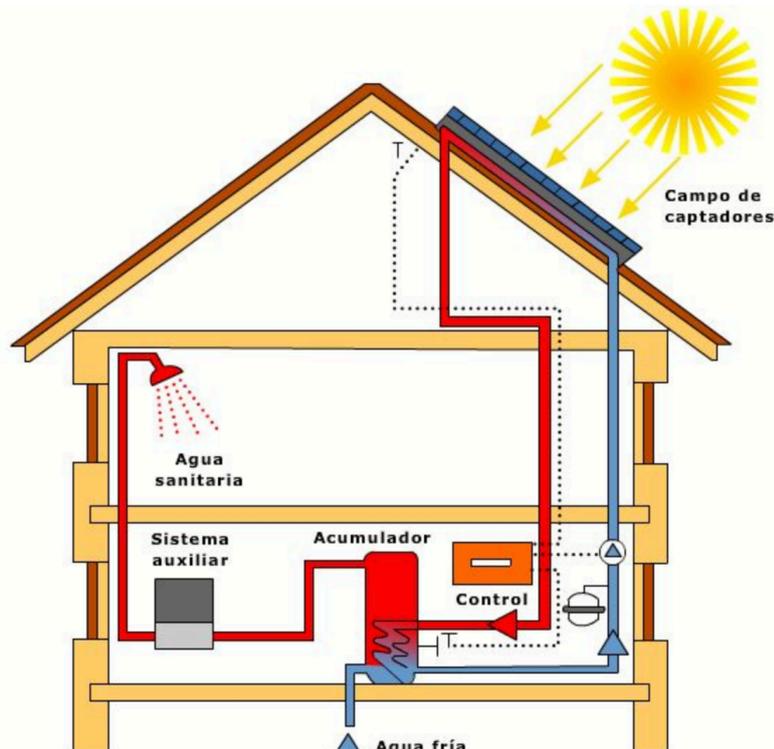


Figura 8.- Funcionamiento de energía solar térmica en una vivienda (Fuente: Fuentes de energía renovables).

En este punto se describe el funcionamiento de una instalación solar térmica. En primer lugar, se describen los principales elementos con los que cuenta una instalación solar térmica. La descripción de estos elementos se desarrollará más en profundidad en la siguiente sección “1.1.4. Elementos de instalaciones solares fotovoltaicas y térmicas”. Los elementos con los que cuentan las instalaciones solares térmicas son [18]:

- Paneles solares térmicos. También llamados colectores solares, constituyen el sistema de captación de la energía solar en forma de radiación. Básicamente se ocupan de absorber la energía solar y transmitirla en forma de energía térmica al fluido de operación.
- Sistema de acumulación. Su función se limita a almacenar la energía térmica presente en el fluido. Suele ser un tanque en el que se almacena dicho fluido.
- Sistema de distribución. Esta parte de la instalación la forma el conjunto de tuberías y conductos que sirven para transportar el fluido de operación a otros lugares para el posterior uso de su energía térmica. Las bombas incluidas en el sistema también se consideran parte del sistema de distribución.
- Sistemas de apoyo. En algunas instalaciones existen sistemas de apoyo energético que sirven para satisfacer la demanda en aquellos momentos en los que la producción energética cae por debajo de dicha demanda.

Una vez expuestos los distintos elementos con los que cuenta una instalación solar térmica, se pasa ahora a explicar las dos clasificaciones posibles de instalaciones solares térmicas.

Las instalaciones solares térmicas se pueden clasificar atendiendo a dos criterios. Estos criterios son: según el fluido de trabajo y según la naturaleza del circuito.

Atendiendo al primer criterio, fluido de trabajo, se pueden encontrar dos tipos de instalaciones, que son [18]:

- Instalaciones que utilizan agua como fluido de trabajo.
- Instalaciones que utilizan otro fluido distinto del agua. Suelen ser fluidos anticongelantes. La variedad de estos fluidos es bastante amplia al igual que su precio.

Atendiendo al segundo criterio, naturaleza del circuito, se pueden encontrar dos tipos de instalaciones. Estas son [18]:

- Instalaciones de circuito abierto. En este tipo de instalaciones el agua que se desea calentar es el fluido que circula en el interior de los paneles solares. Como era de esperar, este hecho tiene ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas destaca la reducción de costes y una mayor eficiencia de la instalación evaluada en su conjunto. Entre los inconvenientes destacan problemas en caso de heladas [19].

La siguiente figura ilustra el esquema de una instalación solar térmica de circuito abierto.

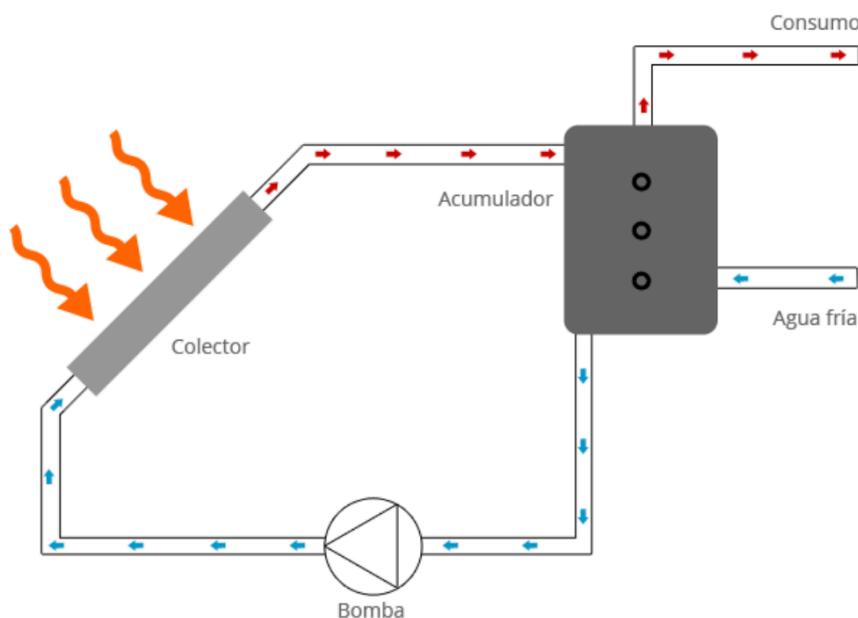


Figura 9.- Instalación solar térmica de circuito abierto (Fuente: Obremo).

- Instalaciones de circuito cerrado. En este tipo de instalaciones el agua que se desea calentar no es el fluido que circula en el interior de los paneles solares. Lo que se hace es utilizar un fluido anticongelante en el interior de los colectores [19].

Como es lógico, dado que el fluido que directamente se calienta no es el agua caliente sanitaria, será necesario un intercambiador de calor para transmitir la energía térmica del fluido de trabajo al agua que se pretende calentar. Además, será necesario un sistema algo más complejo en cuanto a bombas y tuberías que en el caso de las instalaciones térmicas de circuito abierto.

Entre las ventajas destaca la posibilidad de su instalación en localizaciones en las que son habituales las heladas. Entre los inconvenientes destacan la instalación de un sistema más complejo y por tanto más caro.

Por último, destacar que este tipo de instalaciones es el más habitual.

La siguiente figura ilustra el esquema de una instalación solar térmica de circuito cerrado.

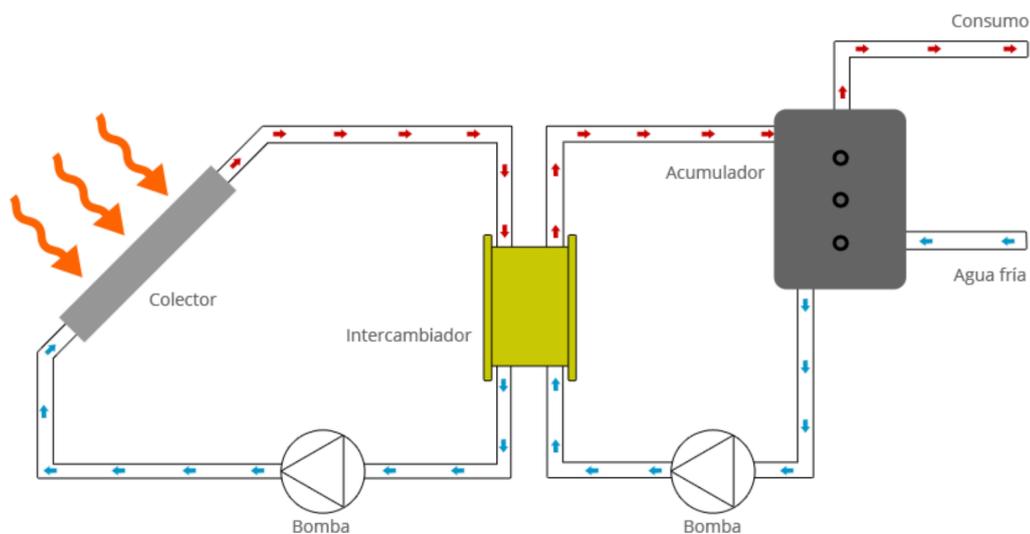


Figura 10.- Instalación solar térmica de circuito cerrado (Fuente: Obremo).

En lo siguiente se explican brevemente las principales ventajas que tiene el uso de instalaciones solares térmicas en comparación con otras tecnologías [18].

Como ya se ha adelantado, la energía solar térmica es una energía renovable y por tanto entre sus principales ventajas cuando se compara con otras energías no renovables se encuentra el hecho de que no contamina y que su fuente de energía no se agota.

Especificando un poco más y buscando detalles diferenciadores con otras tecnologías también renovables, se debe destacar el hecho de que los sistemas de energía solar térmica que se utilizan en la actualidad no requieren un mantenimiento excesivo. En la mayoría de los casos suele bastar con una revisión del sistema al año.

Por otro lado, y aunque esta información no sirva para comparar esta tecnología con otras, cabe destacar el hecho de que instalaciones de este tipo suelen ser de alto rendimiento, eso es, cuando se trata de producir agua caliente sanitaria (ACS), estos sistemas suelen ser capaces de cubrir el 80% de las necesidades de un edificio.

Como última ventaja se destaca el hecho de que este tipo de instalaciones suele requerir una inversión que tarda en amortizarse unos cinco años mientras que la vida media de los equipos suele ser cercana a los veinte años.

Para concluir este apartado, se menciona a continuación las características que tendrá la instalación solar térmica que se pretende diseñar en este proyecto. Sin embargo, lo que sigue sólo servirá como una primera aproximación a la descripción del proyecto. Las características de la instalación se desarrollarán con mucho más detalle en los apartados siguientes.

La instalación solar térmica que se diseña en este proyecto cuenta con las siguientes características:

- Será una instalación que utilice un anticongelante como fluido de trabajo en lugar de agua. En concreto, el fluido será un fluido comercial típico para este tipo de instalaciones. Se verá y describirá más en detalle en apartados posteriores.
- Ya que se utilizará un fluido congelante, la instalación será de circuito cerrado, que por otro lado es la más habitual. Se instalarán todos los elementos necesarios: bombas, acumulador, intercambiador...

1.1.4. Elementos de instalaciones solares fotovoltaicas y térmicas

Al igual que ocurría con el apartado anterior, dado que este proyecto consiste en la instalación de dispositivos para la captación de energía solar, se incluye este apartado describiendo en mayor profundidad los elementos que componen este tipo de instalaciones.

Como ya se ha mencionado, el proyecto consiste en el diseño e instalación de placas solares fotovoltaicas y de placas solares térmicas. Más concretamente las placas se instalarán en la azotea de un centro comercial situado en la localidad de Valladolid (España). Como se verá en apartados posteriores el objetivo de este proyecto es satisfacer las necesidades energéticas de dicho centro.

Este apartado se centra describir los elementos que componen este tipo de instalaciones. En primer lugar, se explicarán los elementos de instalaciones solares fotovoltaicas y en segundo lugar los elementos de instalaciones solares térmicas.

Para cada una de las partes en las que se divide este apartado que se acaban de mencionar, una vez se hayan descrito todos los elementos que componen cada tipo de instalación, se especificará con qué elementos contará la instalación que se pretende diseñar con este proyecto y con qué elementos no. También se justificará el/los motivo/s por los que la instalación objeto de diseño contendrá los distintos elementos o por qué no.

A continuación, se presentan los elementos que componen las instalaciones solares fotovoltaicas.

Para describir los elementos que componen este tipo de instalaciones primero se clasifican en sus dos grandes grupos: instalaciones conectadas a red e instalaciones aisladas.

Nótese que no se diferencian en este apartado instalaciones fijas de instalaciones con sistemas de seguimiento solar. La única diferencia que existirá entre estos dos tipos de instalaciones será el mencionado sistema de seguimiento. Los distintos dispositivos de seguimiento a su vez pueden ser más simples o más complejos.

Lo importante es que la única diferencia radicara en el sistema de soporte y anclaje al terreno o superficie en el que se ubiquen los paneles. En este apartado sólo se estudian las diferencias de los elementos que componen instalaciones conectadas a red e instalaciones aisladas.

En primer lugar, se exponen los elementos con los que cuenta toda instalación solar fotovoltaica conectada a red. La siguiente figura muestra un esquema de dicho tipo de instalación fotovoltaica.

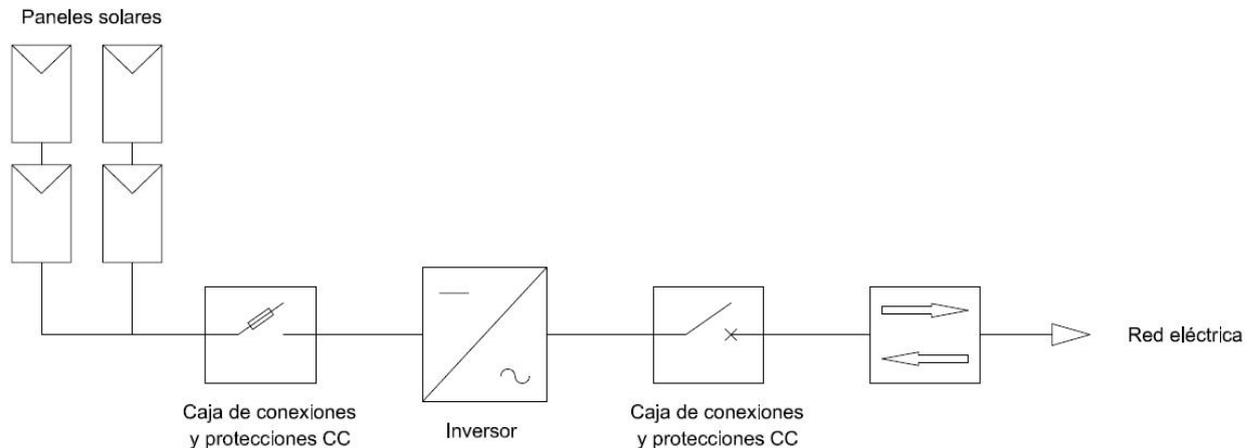


Figura 11.- Esquema de instalación solar fotovoltaica conectada a red (Fuente: Hectevi Energías).

Como puede verse en el esquema anterior, una instalación solar fotovoltaica conectada a red está compuesta principalmente por cuatro elementos: paneles solares fotovoltaicos, cajas de conexiones y protecciones, inversor y cableado. Además, habrá que añadir un quinto elemento que no aparece reflejado en el esquema: el sistema de soportes y anclaje.

Se describen ahora los elementos mencionados:

- Paneles solares fotovoltaicos. Los encargados de captar la energía solar en forma de fotones y transformarla en electricidad. Se basan en el efecto eléctrico como se ha mencionado previamente. Pueden ser monocristalinos o policristalinos.
- Caja de conexiones y protecciones. Como puede verse en el esquema las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red cuentan con dos cajas de conexiones y protecciones, una “aguas arriba” del inversor y la otra “aguas abajo”. Entre los elementos que componen dichas cajas se encuentran seccionadores, contactores, interruptores magnetotérmicos, interruptores diferenciales y fusibles.

Todos los dispositivos mencionados anteriormente tienen como objetivo primordial la seguridad de las personas y del sistema eléctrico al que está conectada la instalación en cuestión.

- Inversor. El inversor es quizás el dispositivo más importante de toda la instalación después de los paneles solares fotovoltaicos. Este dispositivo es el encargado de transformar la electricidad que viene de los paneles en forma de corriente continua en corriente alterna. Realiza esta función fundamental mediante un conjunto de dispositivos eléctricos y electrónicos entre los que se encuentran, por ejemplo, rectificadores.

- Cableado. Todos los elementos de la instalación fotovoltaica en sí, así como su conexión a red se hace mediante un conjunto de cables que transmiten la energía (electricidad) de un punto del sistema a otro. Entre sus características más importantes se pueden destacar las siguientes: longitud de los cables, resistencia e intensidad máxima admisible.
- Sistema de soportes. La instalación solar fotovoltaica quedará anclada a una superficie, esta puede ser un terreno fijo o la azotea de una edificación. En ambos casos se diseñarán los soportes de tal forma que la instalación sea capaz de aguantar las inclemencias del tiempo (fuentes ráfagas de viento) y que se pueda aprovechar al máximo la energía solar, evitando por ejemplo que los paneles queden expuestos a la sombra.

En segundo lugar, y en este punto, se exponen los elementos con los que cuenta toda instalación solar fotovoltaica aislada. La siguiente figura muestra un esquema de dicho tipo de instalación fotovoltaica [20].

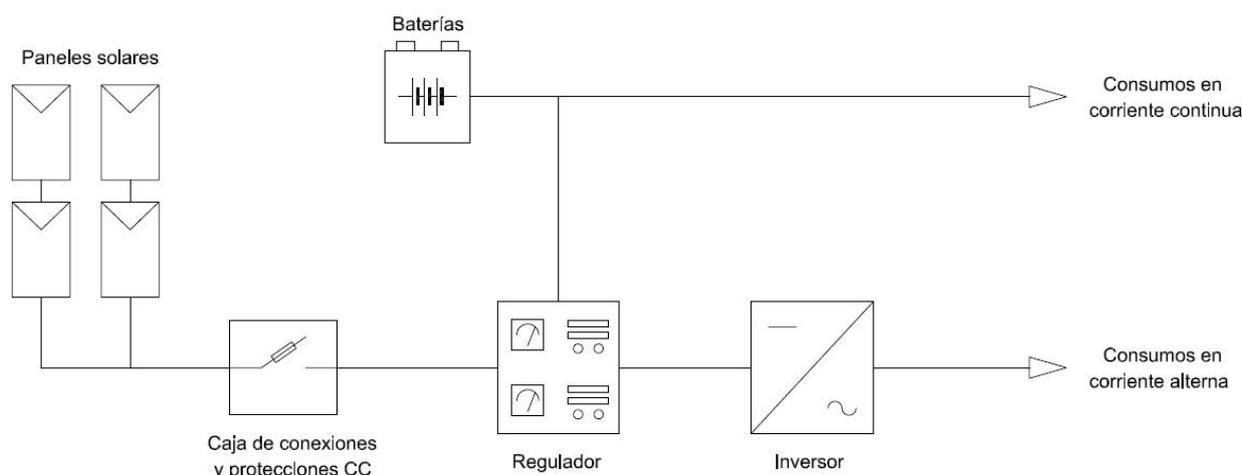


Figura 12.- Esquema de instalación solar fotovoltaica aislada (Fuente: Hectevi Energías).

Como puede verse en el esquema anterior, una instalación solar fotovoltaica aislada está compuesta principalmente por seis elementos: paneles solares fotovoltaicos, caja de conexiones y protecciones, inversor, cableado, baterías y regulador. Además, habrá que añadir un séptimo elemento que no aparece reflejado en el esquema: el sistema de soportes y anclaje.

Los paneles, la caja de conexiones y protecciones, el inversor, el cableado y el sistema de soportes y anclajes comparten las mismas descripciones que las expuestas anteriormente. Nótese que en este tipo de instalaciones habitualmente sólo existe una caja de conexiones

y protecciones en contra de lo que ocurría con las instalaciones conectadas a red. En este caso la caja de conexiones y protecciones se encuentra “aguas arriba” del regulador.

En cuanto a los elementos específicos de instalaciones aisladas cabe decir los siguiente [20]:

- Reguladores. Son los encargados de recoger la energía captada por los paneles solares fotovoltaicos y de estabilizar la tensión en el nivel óptimo para las baterías. Son los dispositivos encargados de cargar y descargar las baterías y también de protegerlas.
- Baterías. Sirven para almacenar la energía producida por los paneles. Cuando la generación excede la demanda se cargan y cuando la generación se encuentra por debajo de la demanda sirven para satisfacer ese déficit de energía y para ello tienen que descargarse.

Se trata del elemento más frágil de la instalación y también el que cuenta con el mayor coste específico. Es por estos motivos por los que cuando se diseña una instalación de este tipo, resultan ser un elemento crítico a la hora de tomar decisiones.

Para terminar con las instalaciones solares fotovoltaicas, se explica que tipo de instalación se diseñará en este proyecto junto con una breve explicación de los motivos que sustentan esta decisión.

En este proyecto se diseña una instalación solar fotovoltaica conectada a red. Por tanto, la instalación contará con los cinco elementos básicos descritos previamente. Estos son: paneles solares fotovoltaicos, cajas de conexiones y protecciones, inversor, cableado y sistema de soportes y anclaje.

Se elige este tipo de instalación por diversos motivos, entre ellos destacan tres:

- La instalación no será en un lugar remoto, sino que su acceso a la red eléctrica será fácil y asequible económicamente.
- Existe una tendencia global hacia la descentralización de la generación del sistema eléctrico. Como se pretende que la instalación funcione durante más de veinte años, el cliente evitará problemas de obsolescencia.
- Este tipo de instalaciones permite ahorrar y por ende recuperar la inversión más rápidamente, al recibir beneficios económicos cuando es capaz de verter energía a la red.

En los siguientes apartados se describe con mucho mayor detalle los elementos que componen la instalación, así como los criterios que se utilizan para la toma de decisiones en cuanto al diseño.

Una vez descritos los elementos de instalaciones solares fotovoltaicas, se presentan a continuación los elementos de instalaciones solares térmicas. Se seguirá el mismo procedimiento: primero se describen los elementos de este tipo de instalaciones y después se menciona con que elementos contará la instalación objeto de diseño de este proyecto y con qué elementos no contará. Por último, se mencionarán las razones de esta decisión.

Al igual que ocurría con las instalaciones solares fotovoltaicas, para las instalaciones solares térmicas también se pueden hacer una clasificación que las divide en dos grandes grupos: instalaciones solares térmicas de circuito abierto e instalaciones solares térmicas de circuito cerrado.

En primer lugar, se exponen los elementos con los que cuenta una instalación solar térmica de circuito abierto. Este tipo de instalaciones cuentan con los siguientes elementos (*Véase la Figura 9 de este documento*) [21].

- Paneles o colectores solares. Constituyen el sistema encargado de captar la energía del sol y transferirla al fluido de trabajo (en el caso de instalaciones de circuito abierto será agua).
- Bombas. Son las encargadas de impulsar el agua por el sistema de tuberías para transportarla de un lugar a otro.
- Acumulador. Es un tanque aislado al cual llega agua procedente de la red de suministro y agua caliente procedente de los paneles. En el acumulador se alcanza la temperatura óptima para el uso del agua.
- Sistema de control. Sirve para controlar todas las variables del sistema y asegurar que estas se encuentran dentro de los rangos establecidos. La variable más crítica es la temperatura del agua. Este sistema manda señales para aumentar la concentración de agua fría o caliente en el acumulador, en función de las necesidades de cada momento.

Una vez explicados los elementos que componen una instalación solar térmica de circuito abierto, se describen a continuación los elementos que componen una instalación de circuito cerrado. La siguiente figura ilustra el esquema de una instalación solar térmica de este tipo.

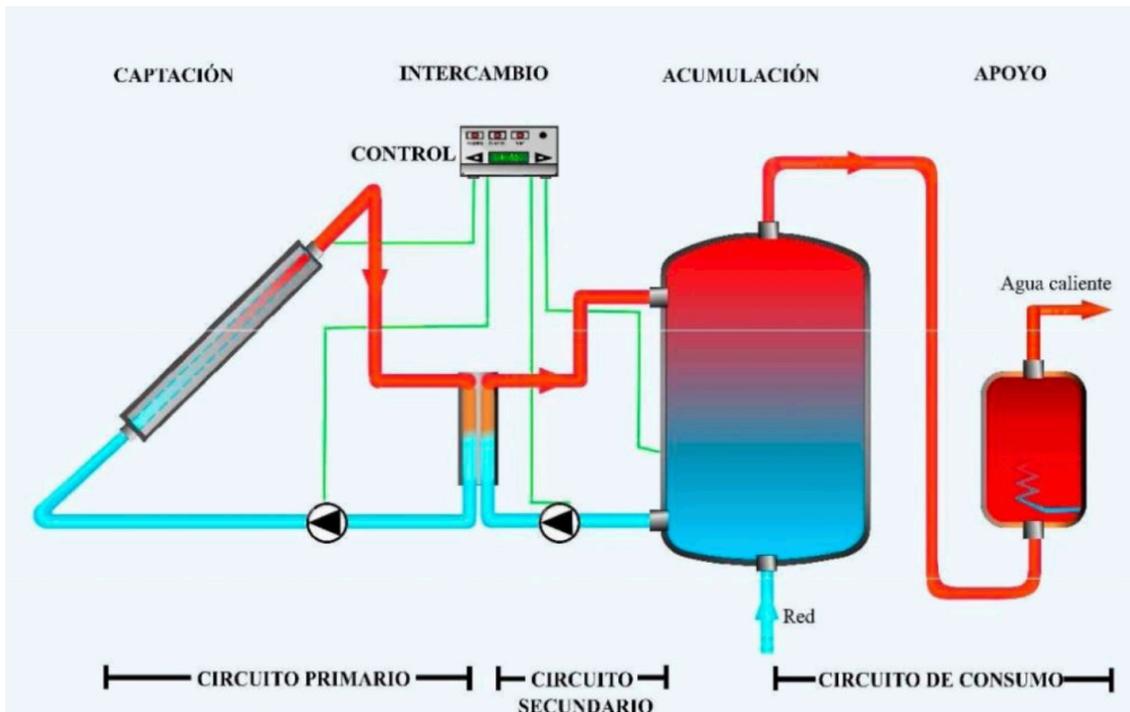


Figura 13.- Esquema de instalación solar térmica de circuito cerrado (Fuente: Fuentes de Energías Renovables).

Como puede verse en el esquema anterior, una instalación solar térmica de circuito cerrado está compuesta principalmente por los cuatro elementos que componen toda instalación solar térmica de circuito abierto más un elemento adicional, el sistema de intercambio [21].

- Sistema de intercambio. El sistema de intercambio habitualmente consiste en un sistema de tuberías que sirve para transferir el calor desde el fluido de trabajo (fluido anticongelante) hacia el agua caliente sanitaria. Se diseña de tal forma que la transferencia de calor sea máxima y las pérdidas sean mínimas.

La otra gran diferencia radica en el fluido de trabajo. En el caso de instalaciones de circuito abierto se trata de agua. En el caso de instalaciones de circuito cerrado se trata de un fluido anticongelante.

Más allá de eso, no existen grandes diferencias entre los dos tipos de instalaciones solares térmicas descritas.

Para terminar con las instalaciones solares térmicas y, por tanto, con este apartado, se explica que tipo de instalación se diseñará en este proyecto junto con una breve explicación de los motivos que sustentan esta decisión.

En este proyecto se diseña una instalación solar térmica de circuito cerrado. Por tanto, la instalación contará con los cinco elementos básicos descritos previamente. Estos son: paneles solares térmicos, bombas, acumulador, sistema de control y sistema de intercambio.

Se elige este tipo de instalación por diversos motivos, entre ellos destacan tres:

- Es el tipo de instalación más común y el que goza de mayor número de fabricantes, precios y variedades.
- El fluido anticongelante permite evitar el problema de las heladas. Además, en Valladolid, que es donde se pretende instalar el sistema, durante el invierno suelen registrarse varios días con temperaturas inferiores a los cero grados centígrados.
- Se evita el problema de la calidad del agua caliente sanitaria. El agua que después se usa no pasa por todo el sistema, esto es, no circula por dentro de los colectores solares. Se evita que el agua arrastre partículas no deseables en agua caliente sanitaria.

En los siguientes apartados se describe con mucho mayor detalle los elementos que componen la instalación, así como los criterios que se utilizan para la toma de decisiones en cuanto al diseño.

1.2. Objetivos del proyecto

En este apartado se exponen los principales objetivos que se pretenden conseguir con este proyecto. El presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objeto el diseño de dos instalaciones: una instalación de placas solares fotovoltaicas y una instalación de placas solares térmicas.

Las dos instalaciones que se pretenden diseñar con este proyecto se ubicarán en la azotea de un centro comercial localizado en la provincia de Valladolid, España. El nombre del centro comercial es Rio Shopping y abrió sus puertas al público en el año 2012.

Ambas instalaciones pretenden utilizar la energía solar para conseguir cierto ahorro energético. Más concretamente, la instalación solar fotovoltaica se diseñará con el objetivo de producir electricidad para poder ahorrar en la factura de la luz del centro comercial. Por su parte, con el diseño de la instalación solar térmica lo que se pretende es producir agua caliente sanitaria (ACS) también para autoconsumo.

El diseño incluye un análisis del tamaño óptimo para las dos instalaciones. Para ello, se tendrán en cuenta multitud de factores, por ejemplo, localización geográfica de las instalaciones, temperaturas máximas y mínimas durante el año, nivel de radiación solar...

El proyecto también incluye un análisis del presupuesto, mantenimiento y viabilidad técnica de ambas instalaciones.

En las siguientes secciones, se incluye una descripción más detallada de cada uno de los objetivos que se pretenden alcanzar con cada una de estas instalaciones: instalación solar fotovoltaica e instalación solar térmica.

1.2.1. Objetivos de la energía solar fotovoltaica

Como ya se ha mencionado, una de los dos grandes objetos del presente Trabajo de Fin de Máster es el diseño de una instalación solar fotovoltaica en la azotea de un centro comercial para conseguir ciertos beneficios económicos en cuanto al consumo de energía se refiere.

Del mismo modo, como ya se ha mencionado en apartados anteriores, la instalación solar fotovoltaica que se pretende diseñar será una instalación conectada a red y no aislada. Esto es, la instalación fotovoltaica será capaz de verter energía a la red en aquellos momentos en los que el consumo energético del centro comercial sea inferior al que producen los paneles solares fotovoltaicos.

De esta manera no sólo se consigue consumir menos energía de la red (comercializadoras energéticas) cuando la demanda energética del centro es superior a la energía producida por los paneles, sino que se puede ganar dinero en caso de que la situación sea la contraria: la energía demandada por el centro es inferior a la producida por los paneles fotovoltaicos.

En los siguientes apartados se describen con detalle las características de la instalación solar fotovoltaica, así como las justificaciones en las que se basan las decisiones tomadas en cuanto al diseño.

1.2.2. Objetivos de la energía solar para ACS

Como ya se ha mencionado, el otro de los dos grandes objetos del presente Trabajo de Fin de Máster es el diseño de una instalación solar térmica en la azotea de un centro comercial para conseguir ciertos beneficios económicos en cuanto al consumo de energía se refiere.

Del mismo modo, como ya se ha mencionado en apartados anteriores, la instalación solar térmica que se pretende diseñar será de circuito cerrado y no abierto. Esto es, la instalación térmica utilizará como fluido de trabajo un fluido anticongelante y se necesitará un sistema de intercambio de calor entre el fluido de trabajo y el agua caliente sanitaria que se pretende obtener.

De esta manera, se producirá agua caliente sanitaria para abastecer al propio centro comercial. Esta instalación térmica, junto con la instalación solar fotovoltaica descrita anteriormente, conseguirán un ahorro económico (ahorro en la factura de la luz) al producir energía destinada a la climatización.

Esto es, el centro comercial consumiría cierta cantidad de energía destinada a la climatización del edificio. Con la instalación de las placas fotovoltaicas y térmicas se pretende que gran cantidad de esa energía (o incluso más de esa energía) sea producida por las citadas dos instalaciones.

En los siguientes apartados se describen con detalle las características de la instalación solar térmica, así como las justificaciones en las que se basan las decisiones tomadas en cuanto al diseño.

1.3. Descripción del proyecto

Como ya se ha mencionado en apartados anteriores el objetivo de este proyecto es el diseño e instalación de placas solares fotovoltaicas y térmicas para ahorro en los consumos de un centro comercial.

En las siguientes secciones de este apartado se describen en mayor profundidad detalles relativos al proyecto en sí, esto es, su emplazamiento y cuáles son los criterios que se han utilizado para instalar un panel solar u otro.

1.3.1. Emplazamiento

Como ya se ha explicado, el objetivo del proyecto es el diseño de dos instalaciones, una solar fotovoltaica, y una solar térmica. Ambas instalaciones se ubicarán en la azotea de un centro comercial.

El centro comercial en cuestión se encuentra en la provincia de Valladolid, España. Resulta importante ofrecer al lector en este punto un mapa con la ubicación de dicha provincia, para que pueda situarla. También resulta útil mostrar un mapa con las distintas zonas de radiación solar existentes en España. De este modo el lector puede comprobar que existen ciertos niveles de radiación en el lugar donde se pretenden instalar las placas.

Las siguientes figuras muestran la ubicación de la provincia de Valladolid en el mapa de España y un mapa de radiación solar de dicho país, respectivamente.



Figura 14.- Provincia de Valladolid en mapa de España
(Fuente: Wikipedia, la Enciclopedia Libre).

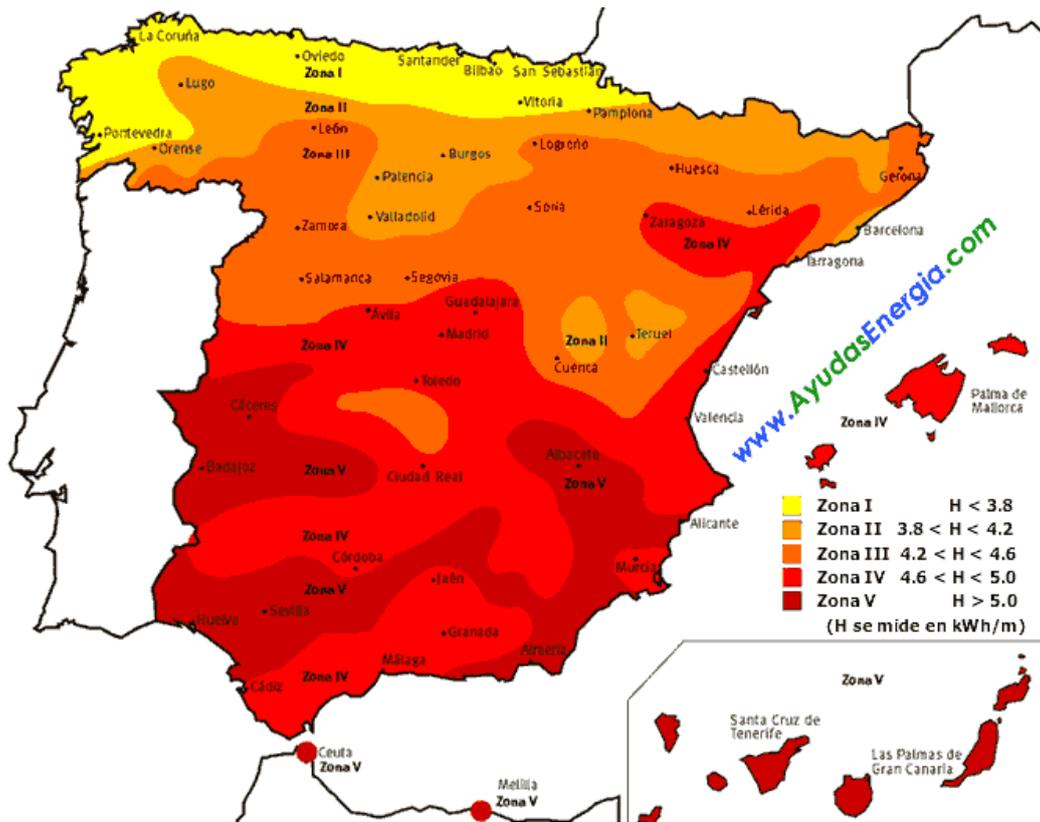


Figura 15.- Mapa de radiación solar en España (Fuente: Código Técnico de la Edificación).

Como puede verse en la figura anterior Valladolid se sitúa en la Zona II de radiación solar, si bien es cierto que no toda la provincia y que la ciudad de Valladolid se encuentra muy próxima a la Zona III.

Por estos motivos, se puede asumir que aproximadamente la radiación solar esperada en el centro comercial donde se pretende instalar las placas rondaría el máximo de la Zona II que coincide con el mínimo de la Zona III, esto es, 4,2 kWh/m².

Para terminar con esta sección se describe en este punto más detalladamente las características del centro comercial en donde se pretende instalar las placas solares fotovoltaicas y térmicas.

El centro comercial se llama Rio Shopping. Fue inaugurado en el año 2012 y se encuentra ubicado en la localidad de Arroyo de la Encomienda, en la provincia de Valladolid.

Dicho centro cuenta con dos plantas y dos cubiertas. En la planta baja se encuentran los locales comerciales. El área de estos locales es de 34.002 metros cuadrados. Además de estos locales, la planta baja cuenta con una galería (esto es, los pasillos que unen los centros comerciales y por donde circula la gente), que tiene un área de 6.297 metros cuadrados.

En la planta superior (planta primera), se encuentra una sala de cine y diversos locales que se utilizan con otros fines que no son estrictamente comerciales. Estos locales suelen ser almacenes, cuartos de maquinaria, vestuarios, etc. No será necesario climatizar dichos locales.

La planta primera también cuenta con una galería para que circulen las personas. Este conjunto de pasillos si se climatizará y el área de dicha galería es de 1.657 metros cuadrados. En las cubiertas de la azotea es donde se situarán las mencionadas instalaciones solar fotovoltaica y solar térmica.

1.3.2. Criterios de decisión de los paneles

En las siguientes secciones se explican las dos tecnologías que se pretenden diseñar en este proyecto: energía solar fotovoltaica y energía solar térmica. Lo que se pretende con esta sección es dar unas nociones de las características básicas que presentan los colectores solares de estas tecnologías.

Además, se pretende que estas secciones sirvan como una primera aproximación para que el lector pueda entender cuáles son los criterios en los que se han basado las decisiones de los colectores solares elegidos.

1.3.2.1. Tecnología de la energía solar fotovoltaica

Como ya se ha explicado con anterioridad, la energía solar fotovoltaica basa su principio de funcionamiento en la captación de la luz solar para, mediante el uso de unos materiales semiconductores, generar electricidad. Esta energía eléctrica posteriormente puede usarse para un sinnúmero de necesidades.

Cuando se pretende diseñar una instalación fotovoltaica, resultan ser los propios paneles o colectores solares el elemento más importante del diseño. Es por este motivo por el que conocer muy bien los parámetros que dan los fabricantes de dichos paneles resulta ser crítico si se quiere diseñar una instalación óptima.

En este punto se explican los principales parámetros que dan los fabricantes de paneles solares fotovoltaicos a tener en cuenta cuando se diseña una instalación de este tipo.

- En primer lugar, la potencia máxima. Denotada habitualmente con la letra P. Es el parámetro más importante del diseño. Se trata del valor de pico, esto es, la máxima potencia que puede entregar un panel o colector en un determinado momento. Se calcula multiplicando el voltaje a máxima potencia por la intensidad a máxima potencia (que se verán más adelante).

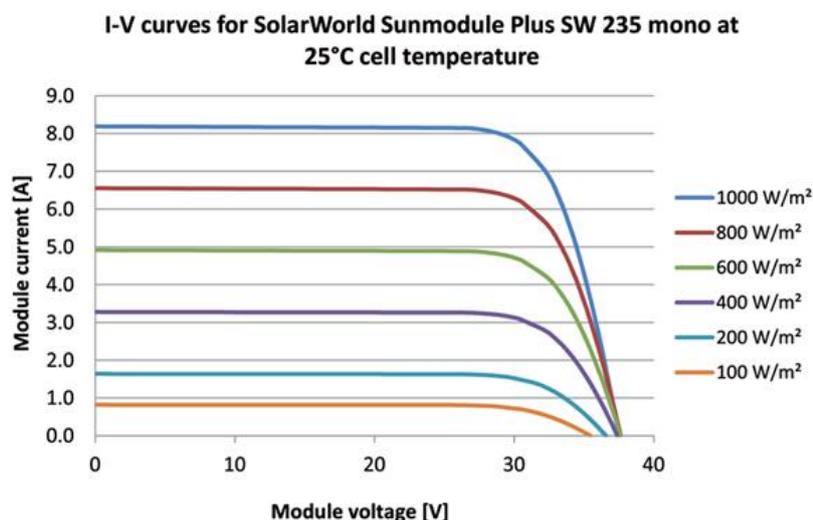
Suele darse para una temperatura ambiente de 25 grados centígrados. También suele darse para unas condiciones de radiación solar global de 1000 W/m^2 . Su valor está expresado en Watios.

- Tensión en circuito abierto. Se trata de la tensión a la que se encuentra el panel cuando está absorbiendo energía solar y no hay ninguna carga a la que está conectado. Es el voltaje que se mide entre los terminales cuando el panel está trabajando, pero desconectado de la instalación. Es un parámetro importante a la hora de elegir el inversor o inversores.
- Corriente de cortocircuito. Se trata de la máxima corriente que proporciona el colector solar cuando sus terminales se encuentran en cortocircuito, esto es, sin ninguna carga o resistencia conectada.
- Tensión a la máxima potencia. Es el parámetro que determina que tipo de panel es. Se trata de la tensión a la que se encuentra el panel cuando entregue la máxima potencia.
- Intensidad a la máxima potencia. Se trata de la intensidad que proporciona el panel cuando se encuentre entregando la máxima potencia.

Recuérdese que para hallar la potencia máxima basta con multiplicar la tensión a la máxima potencia por la intensidad a la máxima potencia

- Eficiencia total. Es el resultado de dividir la potencia generada por el panel entre la potencia de radiación a la que se encuentra sometido.

Por último, se incluye una figura que representa las curvas características de varios paneles medidos a 25 grados centígrados. En ella se muestran los siguientes parámetros: potencia máxima, tensión a la máxima potencia e intensidad a la máxima potencia.



Curva i-V de un panel fotovoltaico monocristalino SW 235 mono 21V - 235 Wp
Figura 16.- Curvas características de paneles solares fotovoltaicos (Fuente: Energetika).

1.3.2.2. Tecnología de la energía solar térmica

Como ya se ha explicado con anterioridad, la energía solar térmica basa su principio de funcionamiento en la captación de la radiación solar para calentar un fluido de trabajo. Posteriormente, la energía térmica de este fluido se usará con otros fines, por ejemplo, servir de apoyo para un sistema de climatización (hacer que el agua de entrada al sistema esté más caliente que el agua de red).

Como no podía ser de otra manera, la decisión de que colectores o paneles solares utilizar resulta crítica en el diseño de una instalación de este tipo. El criterio al que debe atenerse cualquier diseño de una instalación solar térmica tiene que ver con lo que se conoce como la curva de rendimiento de los paneles solares térmicos.

De hecho, de la comparativa de las distintas curvas de rendimiento de distintos modelos de placas solares térmicas es de donde surge la elección de que paneles emplear y que paneles no emplear dependiendo de las particularidades de cada instalación.

En este punto se explica como funcionan dichas curvas de rendimiento. A continuación, se explican detalladamente los parámetros que componen dichas curvas, y, por último, se ilustra la explicación con un breve ejemplo para que el lector pueda entender mejor como funcionan las comparativas de dichas curvas.

Para empezar, cabe decir que todos los colectores térmicos que se pretendan instalar deben haber sido certificados mediante ensayos homologados cumpliendo con las normas UNE pertinentes [23].

En general, se trabaja con dos tipos de curvas: la llamada curva lineal y la conocida como curva cuadrática. En esta sección se explicarán ambas.

La ecuación general de la curva de rendimiento de un panel solar térmica puede expresarse de la siguiente manera:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot (T_m - T_a)}{I} - \frac{k_2 \cdot (T_m - T_a)^2}{I}$$

Donde T_m es la temperatura media del colector, T_a es la temperatura ambiente e I es la radiación solar global expresada en W/m^2 .

Como puede verse en la ecuación anterior, el rendimiento de un colector solar es una función de la diferencia de temperaturas existente entre el colector y el exterior, la radiación solar y dos coeficientes denotados con las letras k_1 y k_2 [23].

Tal y como podría deducirse, la llamada curva lineal de rendimiento queda expresada con la ecuación general eliminando el término cuadrático. Por su parte, la conocida como curva cuadrática atiende a la ecuación anterior completa.

A continuación, se expone un ejemplo ilustrativo para que el lector pueda entender mejor porque ciertos paneles solares son mejores que otros en determinados entornos. Con el

objetivo de simplificar la explicación se mostrará dicho utilizando la curva de rendimiento lineal.

Como ya se ha explicado, para obtener la curva de rendimiento lineal de un colector se desprecia el término cuadrático:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot (T_m - T_a)}{I}$$

La ecuación anterior representa la curva de rendimiento lineal de un colector. Si el lector, tiene conocimiento en álgebra básica podrá ver claramente como la forma de esta curva se puede simplifica a la ecuación de una recta de la siguiente manera.

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot X$$

Y en este punto, se explica cuáles son los datos de las curvas de rendimiento aportados por los fabricantes y como se interpretan dichos datos.

En primer lugar, el factor óptico. También denominado eficiencia máxima o coeficiente de ganancias. Este parámetro representa la situación en la que el panel solar térmico no emite energía térmica al entorno. Esta situación se alcanza cuando la diferencia de temperaturas existente entre el fluido de trabajo y el entorno es nula.

Este parámetro queda determinado por la transparencia de la placa solar térmica (en concreto del vidrio que contiene) y el grado de absorción que presenta la capa selectiva del colector. Es por esto por lo que este parámetro se conoce como factor óptico.

En segundo lugar, el coeficiente de pérdidas lineal. Este coeficiente entra en juego cuando sí que existe una diferencia entre la temperatura media del fluido de trabajo y el entorno.

Si se trazase una gráfica para representar la curva de un panel, el factor óptico sería la ordenada en el origen, esto es, el punto de corte con el eje Y, mientras que el coeficiente lineal de pérdidas sería la pendiente de la recta, siendo el eje X la diferencia de temperaturas entre el fluido de trabajo y el ambiente.

Sirviendo como ejemplo, imagínese que se necesitan comparar dos colectores con las siguientes características:

Colector 1. Factor óptico = 0,76. Coeficiente lineal de pérdidas 3,2 W/m²·K.

Colector 2. Factor óptico = 0,79. Coeficiente lineal de pérdidas 6,16 W/m²·K.

Si se supone un día bastante soleado esto es, por ejemplo, una radiación solar global de I=800 W/m², se obtendrían las siguientes curvas:

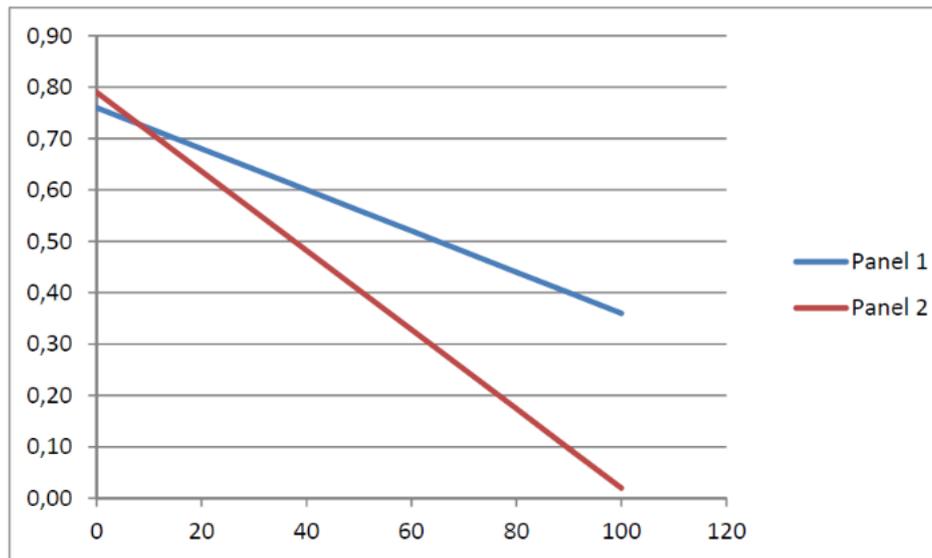


Figura 17.- Comparativa de dos colectores solares térmicos

Donde el eje Y representa el rendimiento del panel y el eje X por su parte representa la diferencia de temperaturas entre el fluido de trabajo y el ambiente.

Como puede verse en la figura, la curva del colector 1 tiene menos pendiente y también menor eficiencia óptica. Este hecho se traduce en que con diferencias de temperaturas bajas (en este caso en torno a los 15 centígrados) se obtendrá un rendimiento mayor del colector 2.

Sin embargo, a medida que aumenta la diferencia de temperaturas existente entre el fluido de trabajo y el ambiente, el rendimiento del colector 2 cae mucho más rápidamente que la del colector 1 y, por ello, pasaría a ser más eficiente el colector 1.

1.4. Instalación solar fotovoltaica

En este apartado se describe la instalación solar fotovoltaica que se diseña en este proyecto. Dicho apartado se estructura de la siguiente manera: primero se tratan las consideraciones que se deben tener en cuenta para entender bien el diseño posterior, y después, se van desarrollando cada uno de los componentes que forman la instalación (captadores, caja de conexiones y protecciones, inversor, cableado y soportes).

1.4.1. Consideraciones

Lo primero que se debe tener en cuenta es el lugar específico en el que se va a ubicar la instalación. Para el caso de la instalación solar fotovoltaica, será una de las dos cubiertas disponibles para instalaciones de este tipo con las que cuenta el centro comercial.

En concreto, la instalación solar fotovoltaica se ubicará en la cubierta Noroeste del centro comercial. Esta cubierta se corresponde con la azotea de unos grandes almacenes y tiene una superficie hábil (para instalar placas solares de estas características) de 4.722 metros cuadrados.

1.4.2. Componentes de la instalación solar fotovoltaica

En esta sección se describen y desarrollan los elementos que componen la instalación solar fotovoltaica en cuestión. A saber, captadores solares, caja de conexiones y protecciones, inversor, cableado y soportes.

Se hará especial hincapié en las placas o captadores solares pues es el elemento crítico de diseño de la instalación.

1.4.2.1. Captadores solares e Inversor

Como se acaba de mencionar, los captadores o colectores solares son el elemento de diseño más importante del proyecto. Es por este motivo por el que se dedica un mayor espacio en este documento a estos elementos de la instalación.

Antes de mencionar que modelo de placas solares fotovoltaicas se ha elegido para este proyecto (cuál es su fabricante, potencia máxima, tensión a la máxima potencia...), lo que se hace en este punto es explicar cuales son las primeras restricciones que se han tenido en cuenta para elegir un modelo de panel u otro.

En el apartado *Elección de los paneles solares fotovoltaicos e Inversor* dentro del Anexo de este documento, se puede encontrar el método que se ha seguido para determinar el

modelo de panel solar fotovoltaico empleado, así como el número de paneles y la cobertura de demanda eléctrica que realizan.

Antes de que el lector eche un vistazo a dicho Anexo, es recomendable que siga leyendo los siguientes párrafos.

Lo primero que se ha tenido en cuenta para elegir tanto los paneles como su disposición es la demanda eléctrica que se pretende cubrir con ellos. Como se ha mencionado, se pretende que estos paneles solares fotovoltaicos sirvan para satisfacer la demanda energética de un centro comercial.

Según la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Fenercom) [24], el consumo energético de un centro comercial suele estar entre los 117 y los 333 kWh por cada metro cuadrado de superficie (dato de consumo energético anual).

Para el objeto de este proyecto se puede utilizar como dato el valor medio de los anteriores, es decir, 225 kWh/año · m².

Este último dato será crítico a la hora del diseño de la instalación solar fotovoltaica. Para tener una estimación del consumo eléctrico total del centro comercial habrá de multiplicarse este último dato por el total de metros cuadrados con los que cuenta el centro comercial.

La superficie del centro que constituyen los pasillos compartidos es:

$$6.297 + 1.657 = 7.954 \text{ m}^2$$

Y la demanda eléctrica aproximada siguiendo las hipótesis que se han mencionado:

$$7.954 \text{ m}^2 \cdot 225 \frac{\text{kWh}}{\text{año} \cdot \text{m}^2} \approx 1.790 \frac{\text{MWh}}{\text{año}}$$

Además, se tendrá en cuenta como restricción los 4.722 metros cuadrados disponibles para la instalación solar. Sin embargo, lo que finalmente limitará el número de paneles será que únicamente se buscará una cobertura eléctrica en torno al 40% del total. De otro modo, la instalación será muy cara y se tardará mucho en recuperar la inversión inicial.

Estas últimas afirmaciones pueden comprobarse después en el apartado *Presupuesto*, en la sección *Estudio de Viabilidad Económica*.

Tal y como se ha explicado en el apartado lo que se ha pretendido es que la instalación solar fotovoltaica sirva para cubrir en torno a un 40% de la demanda energética total del centro comercial.

Se ha fijado este 40% como valor de referencia para evitar caer por un extremo en un diseño demasiado caro, y, por el otro extremo, caer en un diseño cuya utilidad se ponga en duda.

Como ha quedado reflejado en el apartado *Instalación solar fotovoltaica* la demanda energética total del centro se sitúa en torno a unos 1.790 MWh/año. El 40% de este valor es 716 MWh/año.

Antes de seguir con la explicación, se debe mencionar que para el diseño de la instalación solar fotovoltaica se ha dispuesto de un programa que utiliza la herramienta Excel.

Este programa utiliza macros para calcular los niveles de radiación de la ubicación del proyecto (en este caso Valladolid), así como de precios de la energía en España para calcular la producción energética que aportará la instalación diseñada.

Además, cuenta con unas pequeñas bases de datos en las que se encuentran la información relativa a varios modelos de colectores solares, así como de inversores útiles para este tipo de instalaciones eléctricas.

A continuación se muestra el proceso que se ha seguido para dar con las cantidades y modelos óptimos, tanto de colectores como de inversores.

1.- En primer lugar, utilizando la herramienta Excel, y valiéndose de las llamadas Macros, se han introducido como datos de entrada, tanto la ubicación del proyecto como el tipo de instalación. De este modo el programa, en función del número de colectores, inversor y disposición de los mismos, ya puede calcular la producción de energía basándose, entre otras cosas, en los niveles de radiación esperados. La siguiente figura muestra el detalle de estas entradas de datos en el programa.

TIPO INSTALACIÓN	FIJA
Emplazamiento	VALLADOLID
PRODUCCION ESTIMADA	
CONFIGURACION ESPACIAL	

Figura 28.- Datos de entrada de ubicación y tipo de instalación para el programa de instalación fotovoltaica

2.- El segundo paso comienza descartando una serie de módulos solares. Como las necesidades energéticas a cubrir son elevadas, y dado que no se dispone de un espacio sin límites, de entre todos los modelos disponibles a comparar se han descartado aquellos de menor potencia.

Se muestra a continuación una figura que contiene la tabla en la que se encuentran los modelos de colectores de los que se ha dispuesto. Se han señalado en color amarillos los dos modelos de mayor potencia (380 Wp), que son lo que finalmente se han comparado.

MÓDULO	Potencia	Icc	Imp	Voc	Vamp	Voc (-10 °C)	Coeff T ^m	Archo	Alto	Profundo	Peso	TONC	Fabricante	Tipo	Célula	Material	CLASE II
GS-1651	165	10,14	9,48	21,60	17,40	24,40	-80,00	0,989	1,310	0,0395	15,0	47,00	GAMESA SOLAR	GS-G-4	4" (103x103)	Monocrystalino	760
GS-1611	161	9,81	9,25	21,60	17,40	24,40	-80,00	0,989	1,310	0,0395	15,0	47,00	GAMESA SOLAR	GS-G-4	4" (103x103)	Monocrystalino	760
GS-1601	160	9,81	9,19	21,60	17,40	24,40	-80,00	0,989	1,310	0,0395	15,0	47,00	GAMESA SOLAR	GS-G-4	4" (103x103)	Monocrystalino	760
GS-1551	155	9,81	8,91	21,60	17,40	24,40	-80,00	0,989	1,310	0,0395	15,0	47,00	GAMESA SOLAR	GS-G-4	4" (103x103)	Monocrystalino	760
GS-150	150	9,24	8,62	21,60	17,40	24,40	-80,00	0,989	1,310	0,0395	15,0	47,00	GAMESA SOLAR	GS-G-4	4" (103x103)	Monocrystalino	760
GS-1501 (5" 12V)	150	8,90	8,70	21,60	17,30	24,50	-82,86	1,047	1,224	0,0395	17,0	47,00	GAMESA SOLAR	GS-5	5" (125x125)	Monocrystalino	760
GS-1501 (5" 24V)	150	4,45	4,35	43,20	34,60	49,00	-165,71	1,047	1,224	0,0395	17,0	47,00	GAMESA SOLAR	GS-5	5" (125x125)	Monocrystalino	760
IS-180 (6" 18V)	180	7,45	6,94	32,40	26,90	36,75	-124,28	0,992	1,515	0,0395	16,8	47,00	ISOFOTON	IS-18	6" (156x156)	Monocrystalino	760
IS-150 (5" 12V)	150	9,30	8,70	21,60	17,30	24,50	-82,86	0,790	1,590	0,0395	14,4	47,00	ISOFOTON	IS-124	5" (125x125)	Monocrystalino	760
IS-150 (5" 24V)	150	4,70	4,35	43,20	34,60	49,00	-165,71	0,790	1,590	0,0395	14,4	47,00	ISOFOTON	IS-124	5" (125x125)	Monocrystalino	760
IS-155 (5" 12V)	155	9,30	8,95	21,60	17,30	24,50	-82,86	0,790	1,590	0,0395	14,4	47,00	ISOFOTON	IS-124	5" (125x125)	Monocrystalino	760
IS-155 (5" 24V)	155	4,70	4,48	43,20	34,60	49,00	-165,71	0,790	1,590	0,0395	14,4	47,00	ISOFOTON	IS-124	5" (125x125)	Monocrystalino	760
IS-200 (5" 32V)	200	4,70	4,35	57,60	46,08	66,30	-248,58	1,047	1,590	0,0395	22,0	47,00	ISOFOTON	IS-32	5" (125x125)	Monocrystalino	760
IS-207 (5" 32V)	207	4,70	4,49	57,60	46,08	66,30	-248,58	1,047	1,590	0,0395	22,0	47,00	ISOFOTON	IS-32	5" (125x125)	Monocrystalino	760
TE-2000 (170)	170	7,40	6,50	32,60	26,40	38,90	-180,00	0,994	1,507	0,0380	18,0	46,00	TOTAL ENERGIE	TOTAL	6" (156x156)	Policristalino	730
TE-2000 (180)	180	7,60	6,80	32,80	26,60	39,10	-180,00	0,994	1,507	0,0380	18,0	46,00	TOTAL ENERGIE	TOTAL	6" (156x156)	Policristalino	730
TE-2000 (190)	190	7,70	7,10	33,10	26,80	39,40	-180,00	0,994	1,507	0,0380	18,0	46,00	TOTAL ENERGIE	TOTAL	6" (156x156)	Policristalino	730
TE-2000 (200)	200	7,90	7,40	33,40	27,10	39,70	-180,00	0,994	1,507	0,0380	18,0	46,00	TOTAL ENERGIE	TOTAL	6" (156x156)	Policristalino	730
TE-2000 (210)	210	8,00	7,70	33,60	27,30	39,90	-180,00	0,994	1,507	0,0380	18,0	46,00	TOTAL ENERGIE	TOTAL	6" (156x156)	Policristalino	730
STC JKMK380M-72H	380	9,75	9,39	48,90	40,50	48,90	-43,75	0,992	1,987	0,0400	22,5	47,00	JINKO SOLAR	EAGLE HC	6" (156x156)	Monocrystalino	1.000
SLK60PEL (212)	212	7,71	7,19	36,50	29,50	40,95	-127,20	0,990	1,640	0,0500	19,0	46,00	SILIKEN	SILIKEN	6" (156x156)	Policristalino	748
SLK60PEL (215)	215	7,80	7,26	36,60	29,60	41,05	-127,20	0,990	1,640	0,0500	19,0	46,00	SILIKEN	SILIKEN	6" (156x156)	Policristalino	748
SLK60PEL (218)	218	7,88	7,36	36,70	29,60	41,15	-127,20	0,990	1,640	0,0500	19,0	46,00	SILIKEN	SILIKEN	6" (156x156)	Policristalino	748
SLK60PEL (230)	230	8,24	7,62	37,20	30,20	41,65	-127,20	0,990	1,640	0,0500	19,0	46,00	SILIKEN	SILIKEN	6" (156x156)	Policristalino	748
REC SCM-205	205	7,93	7,33	36,09	28,08	39,73	-104,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000
REC SCM-210	210	8,10	7,50	36,30	28,20	39,94	-104,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000
REC SCM-215	215	8,20	7,60	36,40	28,30	40,04	-104,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000
REC SCM-220	220	8,30	7,70	36,50	28,30	40,14	-104,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000
REC SCM-380	380	8,60	8,00	36,70	28,50	40,34	-104,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000
REC Premium-210	210	8,10	7,50	36,10	28,00	40,34	-121,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000
REC Premium-215	215	8,10	7,60	36,30	28,10	40,54	-121,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000
REC Premium-220	220	8,20	7,70	36,60	28,70	40,84	-121,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000
REC Premium-235	235	8,30	7,90	37,40	29,80	41,64	-121,00	0,991	1,665	0,0430	22,0	43,00	REC	REC	6" (156x156)	Policristalino	1.000

Figura 29.- Modelos de paneles solares fotovoltaicos a comparar

3.- A continuación, comparando los dos modelos señalados anteriormente, se ha pretendido que la producción eléctrica anual alcanzase los 716 MWh/año. Para ello, el programa cuenta con una hoja que muestra la producción desglosada por meses, así como el ahorro en € que se conseguiría. Un detalle de la hoja Excel mencionada se muestra a continuación.

ESTIMACION PRODUCCION

Empiezoamiento	VALLADOLID
----------------	------------

Tipo Instalación	FUJA
------------------	------

Mes	Nº días	kWh/m ² -día	Producción kWh/mes	€
Enero	31	2,40	34.412,68	14.367,29
Febrero	28	3,41	43.665,90	18.314,01
Marzo	31	4,88	65.785,67	27.465,52
Abril	30	5,19	67.768,84	28.293,49
Mayo	31	5,65	75.627,90	31.574,65
Junio	30	6,20	76.785,97	32.058,14
Julio	31	6,73	85.392,75	35.397,28
Agosto	31	6,73	84.783,91	35.397,28
Septiembre	30	6,03	74.754,27	31.209,91
Octubre	31	4,30	58.440,26	24.398,81
Noviembre	30	2,90	39.638,93	16.549,25
Diciembre	31	1,83	26.310,56	10.994,66
Promedio	365	4,69	733.568	306.264,48

Horas Sol Equivalente/año 1.276
Horas Sol Pico/año 1.716

367 por representad on

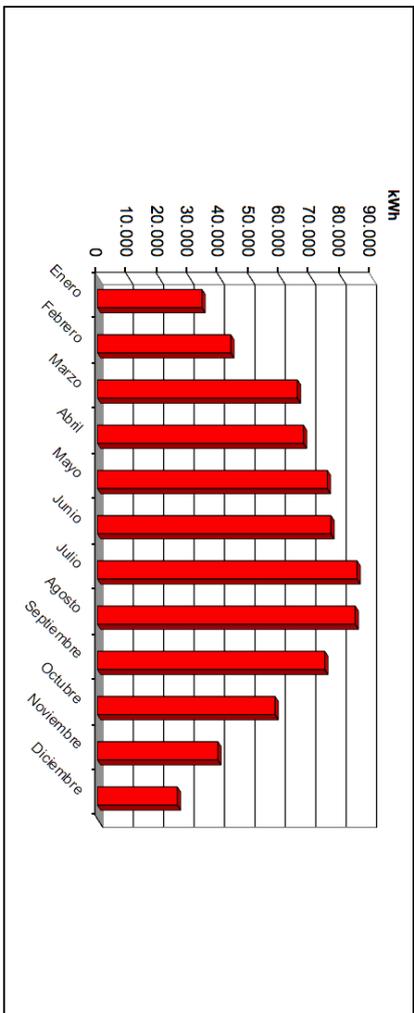
Wp	230
nº mod	2.500
KWP	575,00
KW	500,00
€/KWh	0,41750 €
Ganancia	0%
Otras Perdidas	100%

733.567,62

CO₂ (g/kWh)	Carbon	Ciclo Combinado
962		345
SO_x (g/kWh)	21,0	0,0
NOx (g/kWh)	3,2	0,1

Emisiones de gases contaminantes emitidos en función de la tecnología utilizada

CO₂ (kg)	Carbon	Ciclo Combinado
698.356,4		253.080,8
SO_x (kg)	15.404,9	0,0
NOx (kg)	2.347,4	73,4
Energía	283,4	Hogares



Radiación Solar kWh/m ² -día (M/Jun/Jul/A)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
kWh/m ² -día	2,40	3,41	4,88	5,19	5,65	6,20	6,81	6,73	6,03	4,30	2,90	1,83	4,69
(M/Jun/Jul/A)	8,6	12,3	17,6	18,7	20,3	22,3	24,5	24,2	21,7	15,5	10,4	6,6	202,8
kWh	34.413	43.666	65.786	67.769	75.628	76.786	85.393	84.794	74.754	58.440	39.639	26.311	733.568

Figura 30.- Producción estimada de energía generada por la instalación solar fotovoltaica.

4.- Como podría intuirse, lo que se ha hecho después es comprobar que modelo de placa solar se ajusta mejor en cuanto a superficie del campo y número de colectores a las necesidades del sistema.

El programa cuenta con una herramienta para ir incluyendo colectores en serie y en paralelo e ir comprobando que no se viola ninguna restricción de corriente, tensión y/o potencia.

La siguiente figura muestra un detalle de la ventana que utiliza el usuario en la hoja Excel para ir añadiendo colectores en serie y en paralelo hasta cumplir con las necesidades del sistema.

Como puede verse en la figura, el programa cuenta con unas funciones que indican si las tensiones y corrientes del sistema no sobrepasan los límites permitidos por los equipos. En el caso elegido, como no podía ser de otra manera, no se viola ninguna restricción.

Número Series	18
Número Paralelos	80

PROPIEDADES ELÉCTRICAS MÓDULO

MODELO	STC JKM380M-72H	
Potencia Nominal	380	Wp
Icc	9,75	A
I _{mp}	9,39	A
V _{oc}	48,90	V
V _{mp}	40,50	V
V _{oc} (-10 °C)	48,90	V
Coef T ^a	0,00	mV/°C
TONC	47,00	°C
CLASE II	1.000,00	V

PROPIEDADES FÍSICAS MÓDULO

MODELO	STC JKM380M-72H	
Largo	0,992	m
Alto	1,987	m
Profundo	0,0400	m
Peso	22,50	kg
Fabricante	JINKO SOLAR	
Célula	6" (156x156)	
Material	Monocristalino	

Número Inversores	1
-------------------	---

PROPIEDADES ELÉCTRICAS INVERSOR

MODELO	INGECON SUN 500TL	
FABRICANTE	INGETEM	
Potencia Nominal	500.000	W
V _{mp} mínima	405	V
V _{mp} máxima	750	V
V máx admítida	900	V
Potencia PV máx	625.000	Wp
I máx	1,429	A
V arranque	-	V
V parada	-	V

TIPO INSTALACIÓN

Emplezamiento	VALLEADOLID
---------------	-------------

PRODUCCION ESTIMADA

CONFIGURACION ESPACIAL

CONFIGURACIÓN ELÉCTRICA

Icc	780,00	A	O.K.
I _{mp}	751,20	A	O.K.
V _{oc}	880,20	V	O.K.
V _{mp}	729,00	V	O.K.
V _{oc} (-10 °C)	880,20	V	O.K.

POTENCIA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

1,440

Potencia Instalada	547,200	Wp	O.K.
Potencia Inversores	500.000	W	O.K.

9,44% O.K.

T ^a mínima módulo (°C)	19	°C	O.K.
V _{oc} módulo	48,90	V	O.K.
V _{oc} generador	880,20	V	O.K.

70

T ^a máxima módulo (°C)	70	°C	O.K.
V _{oc} módulo	48,90	V	O.K.
V _{oc} generador	880,20	V	O.K.

880,20

Superficie módulos	2,838	m ²	
Peso total	32,400	kg	O.K.
T ^a amb media sup	21,5	°C	O.K.
T ^a amb media inf	4,1	°C	O.K.
TONC (T ^a amb media sup)	55	°C	O.K.

Figura 31.- Ventana que utiliza el usuario para ir modificando el número de paneles conectados en serie y en paralelo

5.- Por último, se ha elegido un inversor que cumpla con las características eléctricas necesarias para el conjunto de paneles. Estas características incluyen potencias, tensiones e intensidades. La siguiente figura muestra las características del inversor elegido.

PROPIEDADES ELÉCTRICAS INVERSOR			POTENCIA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO		
MODELO	INGECON SUN 500TL		1.440		
FABRICANTE	INGETEA		Potencia Instalada	547.200	Wp O.K.
Potencia Nominal	500.000	W	Potencia Inversores	500.000	W
V_{pmp} mínima	405	V	Ratio Wp/W	9,44%	O.K.
V_{pmp} máxima	750	V	Tª mínima módulo (°C)	19	
V máx admitida	900	V	Voc módulo	48,90	V
Potencia PV máx	625.000	Wp	Voc generador	880,20	V O.K.
I máx	1.429	A			
V arranque	-	V			
V parada	-	V			

Figura 32.- Características técnicas del inversor elegido

Se instalará por tanto 1 grupos de paneles solares fotovoltaicos. Cada uno de ellos es del modelo STC JKM380M-72H del fabricante JINKO SOLAR. Este grupo de paneles contará con 18 paneles conectados en serie y 80 paneles conectados en paralelo, haciendo un total de 500 módulos por grupo y un total de 1.440 módulos en la instalación.

La instalación será fija y su orientación será Sur con una inclinación de 30° (está característica del diseño cumple con el pliego de condiciones del IDAE).

La producción será de 733.568 kWh/año. Para realizar este cálculo se ha utilizado la herramienta Excel y el programa del que se ha dispuesto. Por supuesto, la base de este cálculo está íntimamente relacionada con las características del panel y las características de radiación solar de Valladolid.

Por último se presentan aquí en forma de tabla las características técnicas de los paneles solares fotovoltaicos elegidos.

Fabricante	JINKO SOLAR
Modelo	STC JKM380M-72H
Tipo	Plano
Material	Monocristalino
Dimensiones (LxAxF) [mm]	992x1987x40
Superficie [m²]	1,97
Peso vacío [kg]	22,5
Potencia nominal [W]	380
Corriente cort. [A]	9,75
Tensión de vacío [V]	48,9
Corriente a la máx. pot [A]	9,39
Tensión a la máx. pot [V]	40,5

Tabla 2.- Características técnicas de los paneles solares fotovoltaicos

Una vez explicado el procedimiento para determinar el modelo de inversor óptimo, así como el número óptimo de los mismos, la instalación contará con 1 inversor del modelo INGECOM SUN 500TL del fabricante INGETEAM.

1.4.2.2. Caja de conexiones y protecciones

Después de revisar varios modelos de caja de conexiones y protecciones de distintos fabricantes, se ha decidido utilizar un modelo comercial de buenas referencias. En concreto, se ha decidido utilizar el modelo CUADRO 16 STRINGS – STC 16 del fabricante AMB.

La toma de esta decisión se ha basado en las características del campo fotovoltaico diseñado. Como podría deducirse, parámetros clave a la hora de tomar esta decisión han resultado ser la tensión a la máxima potencia, intensidad a la máxima potencia, corriente de cortocircuito...

Para esta instalación, se utilizarán dos cajas de protección por cada grupo conectado a cada inversor, como sólo hay un grupo, en total se usarán 2 cajas de protección.

A continuación, se muestra una tabla que incluye las características de cada una de estas cajas de protección. Nótese como se detallan las características por separado de los fusibles, interruptores, etc...

CARACTERÍSTICAS GLOBALES DEL MONTAJE	
Tensión máxima de uso	1000Vdc
Corriente máxima de uso	160A
Tensión de aislamiento	1000Vdc
Capacidad de seccionamiento	Si, por interruptor de corte en carga
Protección por fusible	Si
Protección contra sobretensiones	Si
IP	55
Prensaestopas	Si
CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR	
Marca	Telergon / Socomec
Tensión máxima de corte	1000Vdc
Corriente máxima de corte	160A
Tensión de aislamiento	1000Vdc
Accionamiento	Por mando directo
Categoría de empleo	DC21
Tipo de conexión	Disponible en pletina ó brida
CARACTERÍSTICAS DEL FUSIBLE	
Marca	DF
Tensión máxima de uso	900Vdc
Corriente de fusión de fusible	16A
Tensión de aislamiento (base)	1000Vdc
Corriente máxima de la base	32 A
Tipo de base	UTE
Calibre	10x38
Montaje	Carril
Conexión	Brida
CARACTERÍSTICAS DEL PROTECTOR	
Marca	Weidmüller
Tipo	Tipo II
Tensión de uso	1000Vdc
I de descarga	40kA
CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE	
Marca	Claved
Dimensiones máximas	700x500x300mm
IP	55
IK	10
Tapa	Transparente
Prensaestopas	Si (M16 y 20)
IP Prensas	66
Placa de montaje	Aislante

Tabla 1.- Características técnicas de las cajas de protección para la instalación solar fotovoltaica.

1.4.2.3. Cableado

Después de revisar varios modelos de cables de distintos fabricantes, se ha decidido utilizar un modelo comercial de buenas referencias. En concreto, se ha decidido utilizar el modelo H1Z2Z2-K del fabricante TOPSOLAR.

Este modelo es ideal para instalaciones solares fotovoltaicas, tanto móviles como fijas. Se puede utilizar tanto para las conexiones entre los paneles como para las conexiones de los paneles al inversor. Además, es perfectamente compatible con los paneles, caja de conexiones y protecciones e inversor elegidos para este proyecto.

Por supuesto, este modelo es perfectamente compatible con las características eléctricas de la instalación diseñada. El límite de corriente y voltaje queda por encima de las tensiones y corrientes de operación del campo fotovoltaico diseñado.

Además, presenta muy buenas características mecánicas, químicas, térmicas y frente al fuego. A continuación, se muestra una figura en la que se ilustran las características técnicas de este modelo de cable.

CARACTERÍSTICAS



Figura 18.- Características técnicas del cable para instalación solar fotovoltaica.

1.4.2.4. Soportes

En cuanto a los soportes, estos cumplirán con el pliego de condiciones del IDAE. Se dispondrán soportes de tal manera que la instalación sea fija, esté orientada hacia el Sur, y los paneles queden inclinados 30°.

Los soportes se instalarán de tal manera que las pérdidas de radiación solar por sombras sean nulas o las mínimas permitidas por el pliego de condiciones del IDEA.

A continuación, para que el lector se pueda familiarizar con el aspecto de una instalación de este tipo, se muestra una figura en la que se presenta un esquema de una instalación solar fotovoltaica.

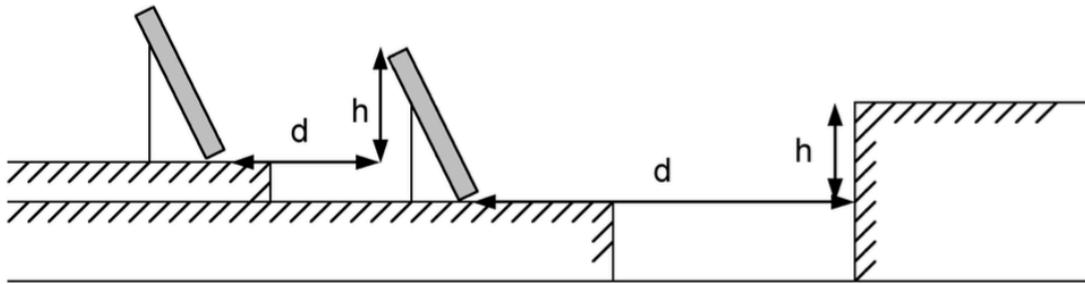


Figura 19.- Esquema de instalación solar fotovoltaica.

Como puede deducirse, la instalación se diseña para que los parámetros “d” y “h” mostrados en la figura anterior, sean tales que no haya pérdidas por sombras o estas sean mínimas.

1.5. Instalación solar térmica

En este apartado se describe la instalación solar térmica que se diseña en este proyecto. Dicho apartado se estructura de la siguiente manera: primero se tratan las consideraciones que se deben tener en cuenta para entender bien el diseño posterior, y después, se van desarrollando cada uno de los componentes que forman la instalación (captadores, depósitos, tuberías y bombas, intercambiador de calor y sistema de control).

1.5.1. Consideraciones

Lo primero que se debe tener en cuenta es el lugar específico en el que se va a ubicar la instalación. Para el caso de la instalación solar térmica, será una de las dos cubiertas disponibles para instalaciones de este tipo con las que cuenta el centro comercial.

En concreto, la instalación solar fotovoltaica se ubicará en la cubierta Sureste del centro comercial. Esta cubierta se corresponde con la azotea de unos grandes almacenes y tiene una superficie hábil (para instalar placas solares de estas características) de 4.232 metros cuadrados.

1.5.2. Componentes de la instalación solar térmica

En esta sección se describen y desarrollan los elementos que componen la instalación solar térmica en cuestión. A saber, captadores solares, depósitos, tuberías y bombas, intercambiador de calor y el sistema de control.

Se hará especial hincapié en las placas o captadores solares pues es el elemento crítico de diseño de la instalación.

1.5.2.1. Captadores solares

Como se acaba de mencionar, los captadores o colectores solares son el elemento de diseño más importante del proyecto. Es por este motivo por el que se dedica un mayor espacio en este documento a estos elementos de la instalación.

Al contrario que como ocurría con las placas solares fotovoltaicas, es conveniente que el lector lo primero que haga al tratar los captadores solares térmicos sea echar un vistazo al apartado *Elección de los paneles solares térmicos* dentro del Anexo de este documento.

En dicho apartado podrá ver que el modelo de paneles solares térmicos elegidos es AQUA CTE INV cuyo fabricante es Productos de Energías Naturales, S.L. La siguiente tabla muestra las características técnicas de dicho modelo de paneles solares térmicos.

Fabricante	Productos de Energías Naturales, S.L.
Modelo	AQUA CTE INV
Eficiencia Óptica	0,798
A1 [W/m²·K]	2,832
A2 [W/m²·K²]	0,028
Dimensiones (LxAxF) [mm]	2048x1047x86
Superficie [m²]	1,99
Volumen [L]	2,32
Fluido de trabajo	Fluido: glicol-agua

En el Anexo se puede comprobar el criterio que se ha empleado para elegir este modelo de entre 30 modelos diferentes que se han comparado. Una vez establecido este modelo como el preferido, se procede a explicar ahora cual ha sido la metodología para determinar el número de los mismos.

De manera similar a como ocurría con los paneles solares fotovoltaicos, lo que se ha hecho es establecer un objetivo de ahorro. Los paneles solares térmicos tienen como función servir de apoyo al sistema de climatización de la galería o Mall de la primera planta del centro comercial.

Esta galería o Mall de pasillos cuenta con 1.657 metros cuadrados. Se ha establecido como valor de referencia un ahorro del 30% de este sistema. Se hace de esta manera porque en caso de buscar un ahorro mayor la instalación sería muy costosa y se tardaría mucho en recuperar la inversión inicial. Por otro lado, si sólo se consiguiera un ahorro inferior a este valor el proyecto empezaría a perder su razón de ser.

Establecido el modelo a emplear y el objetivo de ahorro lo que se ha hecho es usar el programa del que se ha dispuesto en Excel para calcular el número de paneles necesarios.

A continuación se muestra una imagen en la que se ve como se ha ido variando el número de colectores para alcanzar el ahorro deseado (recuérdese que todos los demás datos ya están fijados según las características del modelo empleado: eficiencia óptica, A1, A2, superficie).

Factor de eficiencia del colector:	0,798	DATOS
Coefficiente global de pérdida [W/(m ² ·°C)]:	2,832	
Volumen de acumulación [L/m ²]:	10	
Caudal en circuito primario [(L/h)/m ²] - [(Kg/h)/m ²]:	50	
Caudal en circuito secundario [(L/h)/m ²] - [(Kg/h)/m ²]:	46	
Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg·°C)]:	0,9	
Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg·°C)]:	1	
Eficiencia del intercambiador:	0,95	

CÁLCULO ENERGÉTICO

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Grados-día [°C]	200,0	189,2	179,0	152,1	90,3	0,0	0,0	0,0	4,1	109,7	185,0	229,1	1338,4
Ener. Nec. [Kcal]	14.148	13.387	12.664	10.759	6.389	0	0	0	289	7.763	13.090	16.207	94.695

DATOS DE SALIDA

Número de colectores:	40	
Area colectores [m ²]:	79,60	
Inclinación [°]:	45	
Volumen de acumulación [L]:	800	10,05025

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal]	14148,212	13386,564	12663,544	10759,045	6389,173	0,000	0,000	0,000	288,680	7763,316	13089,517	16206,760	94694,811
Ahorros [Kcal]	1906,020	4988,601	5328,246	5371,658	4801,329	0,000	0,000	0,000	288,680	3977,859	3003,537	1315,319	30981,248
Ahorros [%]:	13,472	37,266	42,075	49,927	75,148	100,000	100,000	100,000	100,000	51,239	22,946	8,116	32,717

Figura 20.- Cálculo del óptimo número de paneles solares térmicos

Como puede comprobarse en la figura anterior, dadas las características de los paneles elegidos, y las necesidades a cubrir por estos, se necesitarán 40 paneles para cubrir un 32,717% de la demanda energética.

La siguiente figura muestra una gráfica con las necesidades de climatización para esta parte del centro comercial desglosadas en meses, así como de la cobertura que proporciona la instalación solar térmica diseñada.

Nótese que, como es lógico, durante los meses de verano, no habrá gasto energético en calefacción y, consecuentemente tampoco ahorro. Durante los meses de invierno el gasto en calefacción será mayor pero la cobertura aportada por las placas no alcanzará el 32% debido a la baja radiación durante esos meses. Compensando estas situaciones se encuentran los meses de primavera y otoño.

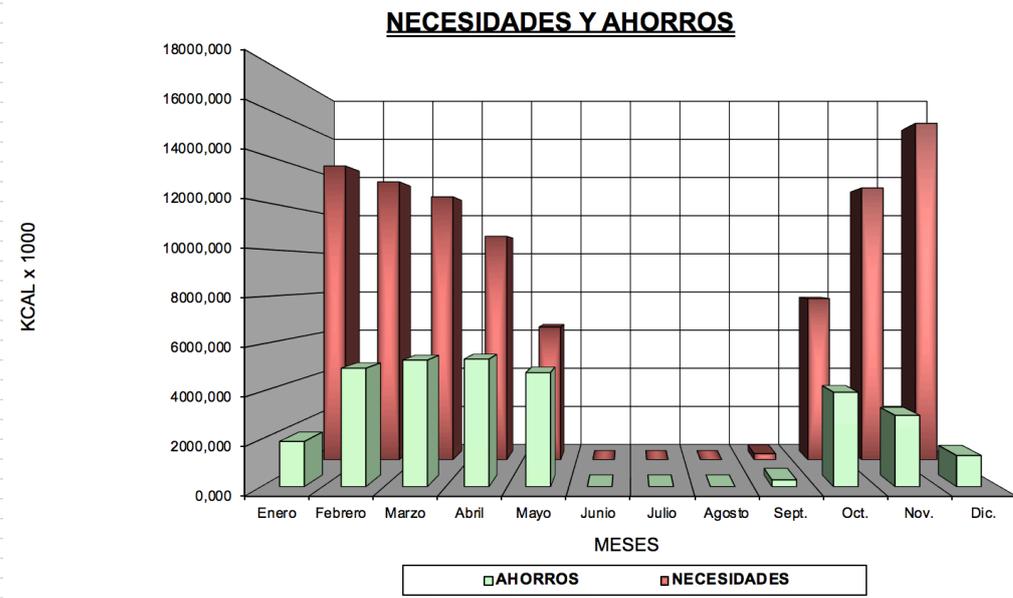


Figura 21.- Necesidades energéticas de calefacción y cobertura aportada por las placas solares térmicas.

1.5.2.2. Depósitos

Después de revisar varios modelos depósitos para instalaciones solares térmicas de distintos fabricantes, se ha decidido utilizar un modelo comercial de buenas referencias. En concreto, se ha decidido utilizar el modelo WOLF SPU-2-W 4000L del fabricante AMB.

Según establece el pliego de condiciones del IDAE, el volumen del depósito debe rondar (en metros cúbicos), el área total de los colectores (en metros cuadrados), multiplicado por 50. Según esto, se ha hecho el siguiente cálculo:

$$Volumen [L] = 50 \cdot 40 \text{ colectores} \cdot \frac{1,99 \text{ m}^2}{\text{colector}} = \mathbf{3.980 L}$$

El depósito elegido por resulta ser ideal para la instalación diseñada, atendiendo a este criterio.

Recuérdese que la instalación solar térmica diseñada está pensada para apoyar únicamente el sistema de calefacción de la galería de la planta superior (1.657 metros cuadrados). No se descarta, en un futuro, ampliar la instalación para satisfacer las necesidades energéticas de la planta inferior y de los locales comerciales.

A continuación, se muestra una figura que incluye las características del depósito elegido para la instalación.

FICHA TÉCNICA PRODUCTO

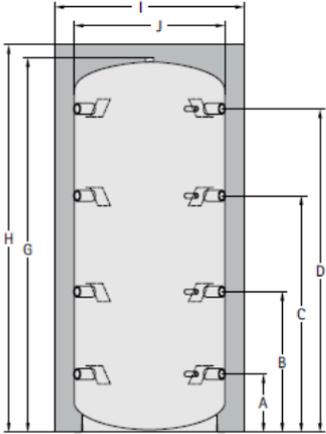
N/Ref.: 2484105		Capacidad: 3950 litros	
Denominación: SPU-2 4000			
Descripción: -Interacumulador solar de acero ST 32-2 sin serpentín. No para ACS -Intercambiador de calor solar de tubo liso de acero S233JR -Alto poder de aislamiento gracias a su vestimento completo de espuma rígida de poliuretano, sin C.F.C. Mínima pérdida de calor -Aislamiento desmontable -Dispone de varias conexiones para otras Aplicaciones de energía (biomasa, cogeneración, etc.)		Datos técnicos: -Presión de régimen admisible secundario: 3 bar -Temperatura máxima de funcionamiento secundario: 95 bar -Peso en vacío: 483 Kg	
Conexiones: -Conexion (8 pc): 1 1/2" -Termómetro (4 pc): 1/2"		Dimensiones: -A: 490 mm -B: 1.050 mm -C: 1.610 mm -D: 2.170 mm -G: 2.590 mm -H: 2.670 mm -I: 1.700 mm -J: 1.500 mm	
			

Figura 22.- Ficha técnica del depósito para la instalación solar térmica.

1.5.2.3. Tuberías y bombas

En cuanto al sistema de bombeo, y dado que se trata de una instalación pequeña, se ha decidido utilizar sólo una bomba de gran capacidad. Después de revisar varios modelos de bombas para instalaciones solares térmicas de distintos fabricantes, se ha decidido utilizar un modelo comercial de buenas referencias. En concreto, se ha decidido utilizar una bomba normalizada sobre bancada B3/B5 del fabricante Sedical.

A la hora de dimensionar una bomba para este tipo de instalaciones, lo que se necesita saber es el caudal que es necesario que la bomba sea capaz de impulsar. La capacidad de

calefacción requerida, así como la diferencia de temperaturas requerida para el medio que se desea calentar resultan ser datos relevantes.

En concreto, la fórmula que se utilizó para el dimensionamiento de la bomba ha sido la siguiente:

$$Q = \frac{C}{D \cdot K \cdot \rho}$$

Donde Q es el caudal en m³/s, C es la capacidad calefactora en kW (este cálculo se detalla a la hora de dimensionar el intercambiador de calor), D es la diferencia de temperaturas entre el agua de red y el agua que sale del sistema en grados centígrados, K es la capacidad calorífica del agua en kJ/kg·K, y ρ es la densidad del agua en kg/m³.

Para el caso que ocupa a este proyecto, se tiene que:

$$Q = \frac{20}{18 \cdot 4,18 \cdot 1000} = 0,0002658 \frac{m^3}{s} = 0,96 \frac{m^3}{h}$$

Como el caudal resultante es aproximadamente 1m³/h, habrá que seleccionar una bomba que tenga como mínimo esa capacidad. Dado que la instalación está diseñada para que pueda ser ampliada en un futuro, se ha escogido una bomba de mayor capacidad.

A continuación se presenta una figura en la que se muestra dicha unidad de bombeo así como una tabla con las principales características técnicas de la misma.



Figura 23.- Bomba para instalación solar térmica

Fabricante	Sedical
Modelo	B3/B5 normalizada sobre bancada
Tensión de alimentación [V]	220
Frecuencia [Hz]	50
Velocidad [rpm]	1.450
Caudal máximo [m³/h]	80
Máxima temperatura [°C]	120
Máxima presión [bar]	6

Tabla 4.- Características técnicas de la bomba para instalación solar térmica

En cuanto al sistema de tuberías, se pretenderá que la longitud de las mismas sea la menor posible tratando de evitar además la existencia de codos. Con esto se pretende reducir al máximo las pérdidas térmicas y las pérdidas de carga.

Del sistema de tuberías se utilizará un sistema de canalización de cobre en montaje superficial. Existe gran variedad de fabricantes, muchos de ellos proporcionan un producto de similares características y de precios parecidos. Como esta parte de la instalación no requerirá un gran desembolso, se deja sin especificar el fabricante para que se elija posteriormente el que más convenga en función de la cercanía o cualquier otro motivo.

No debe olvidarse que las características de las tuberías deben ajustarse a las necesidades de los paneles y del depósito ya seleccionado. También se requerirán piezas especiales, pasamuros y elementos de sujeción en función de las necesidades del emplazamiento.

1.5.2.4. Intercambiador

En cuanto al intercambiador lo que se ha hecho es primero estimar la capacidad de intercambio necesario para este sistema. Del programa Excel del que se ha dispuesto, se conoce que el mes en el que más ahorro se consigue (producción térmica) es Abril. Para el diseño de este proyecto, esta producción térmica es de 5.371 x 1.000 Kcal.

Sobreestimando este valor para no arriesgarse a diseñar una instalación con capacidad insuficiente podemos tomar 6.000.000 Kcal. Dividiendo este valor entre los días del mes de Abril (suponiendo que el centro comercial abre sus puertas todos los días), obtenemos un valor de 6.000.000 Kcal / 30 días = 200.000 Kcal / día. Suponiendo que el centro comercial abre sus puertas durante 12 horas al día, se tendría 200.000 Kcal / 12 horas = 16.666,67 Kcal/h que podríamos estimar en 17.000 Kcal/h.

Por tanto, se tiene que el sistema necesita tener un sistema de intercambio de calor equivalente a 17.000 Kcal/h, que, pasando estas unidades a kW resultan ser 19.8 kW (860 Kcal equivalen a 1 kW).

Así pues, el sistema debe contar con un intercambiador de calor de placas de unos 20 kW de potencia. Después de revisar varios modelos de intercambiadores de calor para instalaciones solares térmicas de distintos fabricantes, se ha decidido utilizar un modelo comercial de buenas referencias. En concreto, se ha decidido utilizar el modelo CBH16-9H del fabricante Alfa Laval.

A continuación se presenta una figura en la que se muestra dicha unidad de intercambio así como una tabla con las principales características técnicas de la misma.

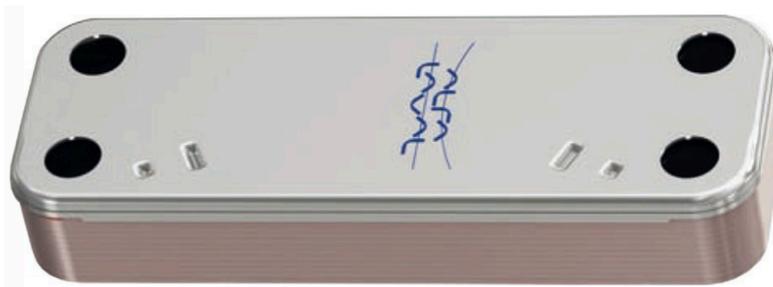


Figura 24.- Intercambiador de calor para la instalación solar térmica

Fabricante	Alfa Laval
Modelo	CBH16-9H
Instalación	De placas corrugadas. Acero Inox.
Temperatura de diseño [°C]	25
Volumen de agua [m³/h]	0,4
Potencia [kW]	20
Dimensiones [mm]	45x74x210
Presión de diseño [bar]	30

Tabla 5.- Características técnicas del intercambiador de calor para la instalación solar térmica

1.5.2.5. Sistema de control

Después de revisar varios modelos de sistemas de control para instalaciones solares térmicas de distintos fabricantes, se ha decidido utilizar un modelo comercial de buenas referencias. En concreto, se ha decidido utilizar el modelo LTDC-V3 del fabricante Termicol.

Este regulador cumple con las necesidades de la instalación objeto de diseño. Se trata de un regulador digital con microprocesador programable, cuenta con un transformador 220/24V y con módulos/convertidores para entradas y salidas digitales.

La siguiente figura muestra la apariencia exterior de dicho sistema de control.

LTDC-V3



Figura 25.- Sistema de control para la instalación solar térmica

2. Pliego de condiciones

En esta parte del documento se muestra el pliego de condiciones bajo el que se ha realizado el proyecto. Ambos diseños, tanto la instalación solar fotovoltaica como la instalación solar térmica se atienen a las condiciones técnicas que se incluyen en este apartado.

Más concretamente, la instalación solar fotovoltaica se ha diseñado bajo las especificaciones técnicas elaboradas por el IDAE, que es el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. El documento se llama *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectas a Red*.

Del mismo modo, la instalación solar térmica se ha diseñado bajo las especificaciones técnicas elaboradas por el IDAE. El documento se llama *Instalaciones de Energía Solar Térmica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*.

2.1. Pliego de condiciones para la instalación solar fotovoltaica

Con el fin de no repetir aquí todo el documento que aplica para las instalaciones solares fotovoltaicas (*Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectas a Red*) que se ha mencionado anteriormente, lo que se hace es incluir el índice y las generalidades.

Se hace de esta manera para poder situar al lector en contexto de lo que es el pliego de condiciones que aplica en este caso. Se ha de destacar que se puede hacer de esta manera porque el Pliego de Condiciones propuesto por el IDAE es un documento público al que toda persona puede acceder fácilmente. De hecho, se encuentra publicado en su página web.

Se incluyen en este documento sólo el apartado de Generalidades puesto que es este el que incluye las normas más generales a las que debe atenerse toda persona que realice un proyecto de estas características.

Se muestra a continuación el índice del documento *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectas a Red*.

- 1.- Objeto
- 2.- Generalidades
- 3.- Definiciones
 - 3.1.- Radiación solar
 - 3.2.- Instalación
 - 3.3.- Módulos
 - 3.4.- Integración arquitectónica
- 4.- Diseño
 - 4.1.- Diseño del generador fotovoltaico
 - 4.2.- Diseño del sistema de monitorización
 - 4.3.- Integración arquitectónica
- 5.- Componentes y materiales
 - 5.1.- Generalidades
 - 5.2.- Sistemas generadores fotovoltaicos
 - 5.3.- Estructura soporte
 - 5.4.- Inversores
 - 5.5.- Cableado
 - 5.6.- Conexión a red
 - 5.7.- Medidas
 - 5.8.- Protecciones
 - 5.9.- Puesta a tierra de las instalaciones fotovoltaicas
 - 5.10.- Armónicos y compatibilidad electromagnética

5.11.- Medidas de seguridad

6.- Recepción y pruebas

7.- Cálculo de la producción anual esperada

8.- Definiciones

8.1.- Generalidades

8.2.- Programa de mantenimiento

8.3.- Garantías

Y a continuación se muestra el apartado 2 del mencionado documento, esto es, las Generalidades.

2.- Generalidades

2.1.- Este Pliego es de aplicación a las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de distribución. Quedan excluidas expresamente las instalaciones aisladas de la red.

2.2.- Podrá, asimismo, servir como guía técnica para otras aplicaciones especiales, las cuales deberán cumplir los requisitos de seguridad, calidad y durabilidad establecidos. En la Memoria de Diseño o Proyecto se incluirán las características de estas aplicaciones.

2.3.- En todo caso serán de aplicación todas las normativas que afecten a instalaciones solares fotovoltaicas, y en particular las siguientes:

- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.
- Norma UNE-EN 62466: Sistemas fotovoltaicos conectados a red. Requisitos mínimos de documentación, puesta en marcha e inspección de un sistema.
- Resolución de 31 de mayo de 2001 por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.
- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobreconexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (B.O.E. de 18-9-2002).
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.

2.2. Pliego de condiciones para la instalación solar térmica

Con el fin de no repetir aquí todo el documento que aplica para las instalaciones solares fotovoltaicas (*Instalaciones de Energía Solar Térmica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*) que se ha mencionado anteriormente, lo que se hace es incluir el índice y las generalidades.

Se hace de esta manera para poder situar al lector en contexto de lo que es el pliego de condiciones que aplica en este caso. Se ha de destacar que se puede hacer de esta manera porque el Pliego de Condiciones propuesto por el IDAE es un documento público al que toda persona puede acceder fácilmente. De hecho, se encuentra publicado en su página web.

Se incluyen en este documento sólo el Anexo I que trata sobre la Normativa de Aplicación y Consulta puesto que es este el que incluye las normas más generales a las que debe atenderse toda persona que realice un proyecto de estas características.

Se muestra a continuación el índice del documento *Instalaciones de Energía Solar Térmica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*.

- 1.- Requisitos generales
 - 1.1.- Objeto y campo de aplicación
 - 1.2.- Generalidades
 - 1.3.- Requisitos generales
 - 1.3.1.- Fluido de trabajo
 - 1.3.2.- Protección contra heladas
 - 1.3.2.1.- Generalidades
 - 1.3.2.2.- Mezclas anticongelantes
 - 1.3.2.3.- Recirculación del agua del circuito
 - 1.3.2.4.- Drenaje automático con recuperación del fluido
 - 1.3.2.5.- Sistemas de drenaje al exterior
 - 1.3.3.- Sobrecalentamientos
 - 1.3.3.1.- Protección contra sobrecalentamientos
 - 1.3.3.2.- Protección contra quemaduras
 - 1.3.3.3.- Protección de materiales y componentes contra altas temperaturas
 - 1.3.4.- Resistencia a presión
 - 1.3.5.- Prevención de flujo inverso
 - 1.3.6.- Prevención de la legionelosis
- 2.- Configuraciones básicas
 - 2.1.- Clasificación de las instalaciones
- 3.- Criterios generales de diseño
 - 3.1.- Dimensionado y cálculo
 - 3.1.1.- Datos de partida
 - 3.1.2.- Dimensionado básico

- 3.2.- Diseño del sistema de captación
 - 3.2.1.- Generalidades
 - 3.2.2.- Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica
 - 3.2.3.- Conexionado
 - 3.2.4.- Estructura soporte
- 3.3.- Diseño del sistema de acumulación solar
 - 3.3.1.- Generalidades
 - 3.3.2.- Situación de las conexiones
 - 3.3.3.- Varios acumuladores
 - 3.3.4.- Sistema auxiliar en el acumulador solar
- 3.4.- Diseño del sistema de intercambio
- 3.5.- Diseño del circuito hidráulico
 - 3.5.1.- Generalidades
 - 3.5.2.- Tuberías
 - 3.5.3.- Bombas
 - 3.5.4.- Vasos de expansión
 - 3.5.5.- Purga de aire
 - 3.5.6.- Drenaje
- 3.6.- Recomendaciones específicas adicionales para sistemas por circulación natural
- 3.7.- Requisitos específicos adicionales para sistemas directos
- 3.8.- Diseño del sistema de energía auxiliar
- 3.9.- Diseño del sistema eléctrico y de control
- 3.10.- Diseño del sistema de monitorización

Y a continuación se muestra el Anexo I del mencionado documento, esto es, la Normativa de Aplicación y Consulta.

Anexo I.- Normativa de Aplicación y Consulta

- Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas.
- Reglamento de Recipientes a Presión (RAP).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT).
- Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).
- Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).
- Ley número 88/67 de 8 de noviembre: Sistema Internacional de Unidades de Medida SI.

- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares.
- Orden ITC/71/2007, de 22-01-2007, por la que se modifica el anexo de la Orden 28-07-1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- Orden ITC/2761/2008, de 26 de septiembre, por la que se amplía el plazo establecido en la disposición transitoria segunda de la Orden ITC/71/2007, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.

3. Presupuesto

3.1. Instalación solar fotovoltaica

En este apartado se muestra el presupuesto destinado a la instalación solar fotovoltaica. La siguiente tabla detalla los gastos incurridos para abordar el proyecto.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€/UNIDAD)	PRECIO TOTAL (€)
Placas solares (unidades)	1.440	188	270.720
Cajas de conexiones (número)	2	857	1.714
Inversores (número)	1	18.150	18.150
Cableado (metros)	2.000	3,58	7.160
Soportes (número)	1.440/4= 360	150	54.000
Mano de Obra (unidades)	1	50.000	50.000
Pruebas/Puesta en Marcha (unidades)	1	1.000	1.000
TOTAL			402.744

Tabla 6.- Presupuesto para la instalación solar fotovoltaica

Como queda detallado en la tabla, el presupuesto destinado para la instalación solar fotovoltaica asciende a un total de 402.744 € (cuatrocientos dos mil setecientos cuarenta y cuatro €).

3.2. Instalación solar térmica

En este apartado se muestra el presupuesto destinado a la instalación solar térmica. La siguiente tabla detalla los gastos incurridos para abordar el proyecto.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€/UNIDAD)	PRECIO TOTAL (€)
Placas solares (unidades)	40	610	24.400-(24.400 x 0,2) = 19.520
Depósitos (unidades)	1	2.256	2.256
Tuberías (metros)	90	4,6	414
Bombas (unidades)	1	296,39	296,39
Intercambiadores (unidades)	1	595	595
Sistemas de control (unidades)	1	1.093,4	1.093,4
Mano de Obra (unidades)	1	5.000	5.000
Pruebas/Puesta en Marcha (unidades)	1	200	200
TOTAL			29.374,79

Tabla 7.- Presupuesto para la instalación solar fotovoltaica

Como queda detallado en la tabla, el presupuesto destinado para la instalación solar térmica asciende a un total de 29.374,79 € (veintinueve mil trescientos setenta y cuatro € y setenta y nueve céntimos de €).

3.3. Presupuesto total

En este apartado se muestra el presupuesto de todo el proyecto en su conjunto. Tiene en cuenta tanto la instalación solar fotovoltaica como la instalación solar térmica. La siguiente tabla detalla dichos gastos.

CONCEPTO	PRECIO (€)
Instalación fotovoltaica	402.744
Instalación térmica	29.374,79
TOTAL	432.118,79 €

Tabla 8.- Presupuesto total

Como queda detallado en la tabla, el presupuesto destinado para abordar el proyecto completo asciende a un total de 432.118,79 € (cuatrocientos treinta y dos mil ciento dieciocho € y setenta y nueve céntimos de €).

3.4. Estudio de viabilidad económica

En este apartado se realiza un estudio económico de las dos instalaciones diseñadas en este proyecto. Como se trata de dos instalaciones totalmente independientes, no se realiza en este análisis un estudio conjunto.

Un estudio conjunto carece de sentido porque, en caso de que una de las instalaciones no sea rentable económicamente y la otra sí, siempre se puede desechar la propuesta desfavorable sin interferir en la otra.

Antes de comenzar con los estudios económicos de ambas instalaciones, se introducen en este punto tres conceptos económicos básicos para que el lector se sitúe en contexto y que además serán de gran importancia en el análisis que se realiza en este apartado.

En primer lugar, el Valor Actual Neto (VAN). Se trata del valor que tiene el proyecto a día de hoy. Se basa en el cálculo de los flujos de caja esperados a lo largo de los años de vida útil del proyecto. Para que un inversor decida ir hacia delante con el proyecto, y dado su tipo de interés, el Valor Actual Neto debe ser positivo. De hecho, para un cierto tipo de interés cuanto mayor sea el VAN mejor.

Se calcula siguiendo la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{c=1}^n \frac{V_T}{(1+k)^c} - I_0$$

Donde V_T es el flujo de caja generado por el proyecto en el año c , k es el tipo de interés o coste de oportunidad del inversor, I_0 es la inversión inicial, y c es el número de años del proyecto.

En segundo lugar, la TIR o Tasa Interna de Retorno. Se trata del tipo de interés o coste de oportunidad que haría el Valor Actual Neto igual a cero. Sirve como indicador de la rentabilidad de un proyecto. Si la TIR es mayor que el coste de oportunidad de un inversor particular, entonces dicho inversor debe invertir, si no, no debe hacerlo.

Por último, el Periodo de Recuperación. Se trata del tiempo (habitualmente medido en años) que tardan los inversores en recuperar el desembolso inicial.

Establecidos estos conceptos, es momento de indicar las hipótesis que se han tenido en cuenta para realizar los análisis económicos de ambos proyectos. Estas son las que siguen:

- El periodo de análisis es de 25 años que es aproximadamente la vida que se espera que tengan los paneles solares.
- Se trabajará con una inflación del 2% durante los primeros 10 años y con una inflación del 2,5% durante los 15 últimos años. Estos valores de inflación afectarán a los precios de la energía, así como las cantidades desembolsadas destinadas al mantenimiento.

- El precio inicial de la energía, esto es, en el año 2020 es de 48€/MWh. Este dato está basado en las medias de los precios medios anuales dados por el OMIE.
- La energía generada por cada una de las instalaciones permanecerá constante durante los 25 años de vida de los proyectos.
- El tipo de interés considerado para ambas instalaciones será del 5%.

Establecidas las hipótesis compartidas a ambos proyectos se explica ahora cada proyecto por separado. Empezando por la instalación solar fotovoltaica y terminando por la instalación solar térmica.

Análisis Económico de la Instalación Solar Fotovoltaica.

En cuanto a la Instalación solar fotovoltaica, la energía generada anualmente es 733,5 MWh. Los ingresos se calculan multiplicando este valor por el precio medio de la energía de cada año. A estos ingresos hay que restarle el coste de mantenimiento que, en este caso, el coste inicial en mantenimiento (año 2020) es de 2.000€.

De la resta anterior se obtienen los flujos de caja generados por el proyecto cada año. Además, por supuesto, debe tenerse en cuenta el año 0 en el que se hace la inversión. En el caso de la instalación solar fotovoltaica la inversión inicial es de 466.6730€ (los detalles de esta inversión inicial se encuentran en este mismo apartado de este documento, en la sección dedicada a la instalación solar fotovoltaica).

Con todos los flujos de caja conocidos (incluyendo en el año en el que se realiza la inversión), se utiliza la herramienta Excel para visualizar como se va recuperando la inversión. Resultan ser importantes los valores de Flujo de Caja acumulados de cada año, los Flujos de Caja descontados a presente y los Flujos de Caja descontados a presente y acumulados.

La siguiente figura, muestra la hoja Excel que se ha utilizado para realizar el análisis económico y visualizar los flujos de caja de cada año. También se ha utilizado para calcular el Valor Actual Neto, la TIR y el Periodo de Recuperación.

Por último, se incluye una tabla que muestra las tres medidas económicas explicadas anteriormente para el caso de la instalación solar fotovoltaica.

Valor Actual Neto [€]	178.884,67
TIR [%]	8,63
Periodo de Recuperación [años]	10,96

Tabla 9.- Resultados económicos instalación solar fotovoltaica

Análisis Económico de la Instalación Solar Térmica.

En cuanto a la Instalación solar térmica, la energía generada anualmente es 55,432 MWh. Los ingresos se calculan multiplicando este valor por el precio medio de la energía de cada año. A estos ingresos hay que restarle el coste de mantenimiento que, en este caso, el coste inicial en mantenimiento (año 2020) es de 200€.

De la resta anterior se obtienen los flujos de caja generados por el proyecto cada año. Además, por supuesto, debe tenerse en cuenta el año 0 en el que se hace la inversión. En el caso de la instalación solar térmica la inversión inicial es de 34.254,79€ (los detalles de esta inversión inicial se encuentran en este mismo apartado de este documento, en la sección dedicada a la instalación solar térmica).

Con todos los flujos de caja conocidos (incluyendo en el año en el que se realiza la inversión), se utiliza la herramienta Excel para visualizar como se va recuperando la inversión. Resultan ser importantes los valores de Flujo de Caja acumulados de cada año, los Flujos de Caja descontados a presente y los Flujos de Caja descontados a presente y acumulados.

La siguiente figura, muestra la hoja Excel que se ha utilizado para realizar el análisis económico y visualizar los flujos de caja de cada año. También se ha utilizado para calcular el Valor Actual Neto, la TIR y el Periodo de Recuperación.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Inflación	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	-	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
Energía generada	-	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00	55432,00
Precio Electricidad	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Ingresos	-	2660,74	2713,95	2768,23	2823,59	2880,07	2937,67	2996,42	3056,35	3117,48	3179,83	3259,32	3340,80	3424,32	3509,93
Mantenimiento	-	-200,00	-204,00	-208,08	-212,24	-216,49	-220,82	-225,23	-229,74	-234,33	-239,02	-244,99	-251,12	-257,40	-263,83
Inversión	-29374,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de Caja	-29374,79	2460,74	2509,95	2560,15	2611,35	2663,58	2716,85	2771,19	2826,61	2883,14	2940,81	3014,33	3089,69	3166,93	3246,10
Flujo de Caja Acumulado	-29374,79	-26914,05	-24404,10	-21843,95	-19232,60	-16569,02	-13852,17	-11080,98	-8254,37	-5371,22	-2430,42	583,91	3673,60	6840,52	10086,62
Tipo de Interés	-	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Flujo de Caja Descortado	-29374,79	2343,56	2276,60	2211,55	2148,37	2086,98	2027,36	1969,43	1913,16	1858,50	1805,40	1762,41	1720,45	1679,49	1639,50
Flujo de Caja Descortado Acumulado	-29374,79	-27031,23	-24754,63	-22543,08	-20394,71	-18307,73	-16280,37	-14310,94	-12397,78	-10539,28	-8733,88	-6971,46	-5251,01	-3571,52	-1932,02
VAN	€	13.720,06 €													
TIR	%	8,80%													
Payback Period	Años	10,81													

Figura 27.- Hoja de cálculo de flujos de caja para instalación térmica

Por último, se incluye una tabla que muestra las tres medidas económicas explicadas anteriormente para el caso de la instalación solar fotovoltaica.

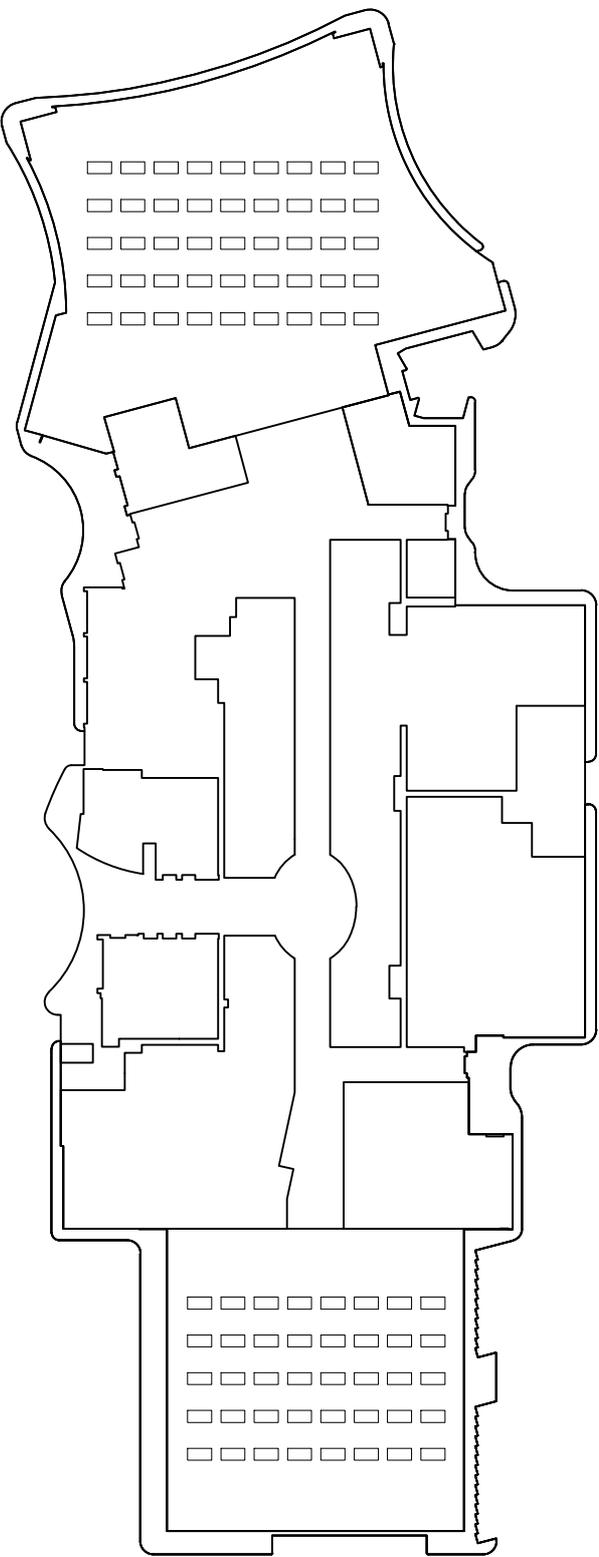
Valor Actual Neto [€]	13.720,06
TIR [%]	8,8
Periodo de Recuperación [años]	10,81

Tabla 10.- Resultados económicos instalación solar térmica

4. Planos

En las páginas siguientes se muestran los planos del proyecto. En total son tres, y se incluyen en el siguiente orden:

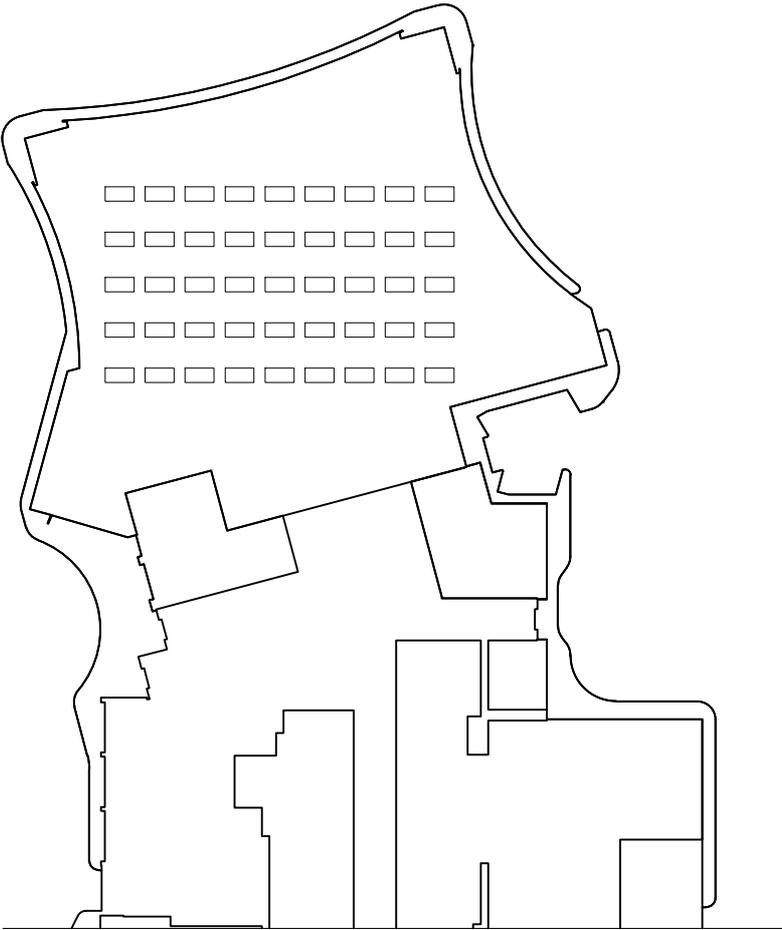
- 1.- Plano general del centro comercial.
- 2.- Plano de cubierta para placas solares fotovoltaicas.
- 3.- Plano de cubierta para placas solares térmicas.
- 4.- Esquema unifilar de la instalación solar fotovoltaica.
- 5.- Esquema de la instalación solar térmica.
- 6.- Plano general detalle de las cubiertas.
- 7.- Plano cuarto de máquinas instalación térmica.



MATERIAL	N/A	ASIGNATURA	TRABAJO FIN DE MÁSTER
TOLERANCIA	N/A	PROYECTO	PLACAS SOLARES EN CENTRO COMERCIAL
GRUPO	X	NOMBRE	
ALUMNO	PEDRO PARDO	FECHA	
ALUMNO	PEDRO PARDO		
ALUMNO	PEDRO PARDO		
ESCALA	1:1'000		

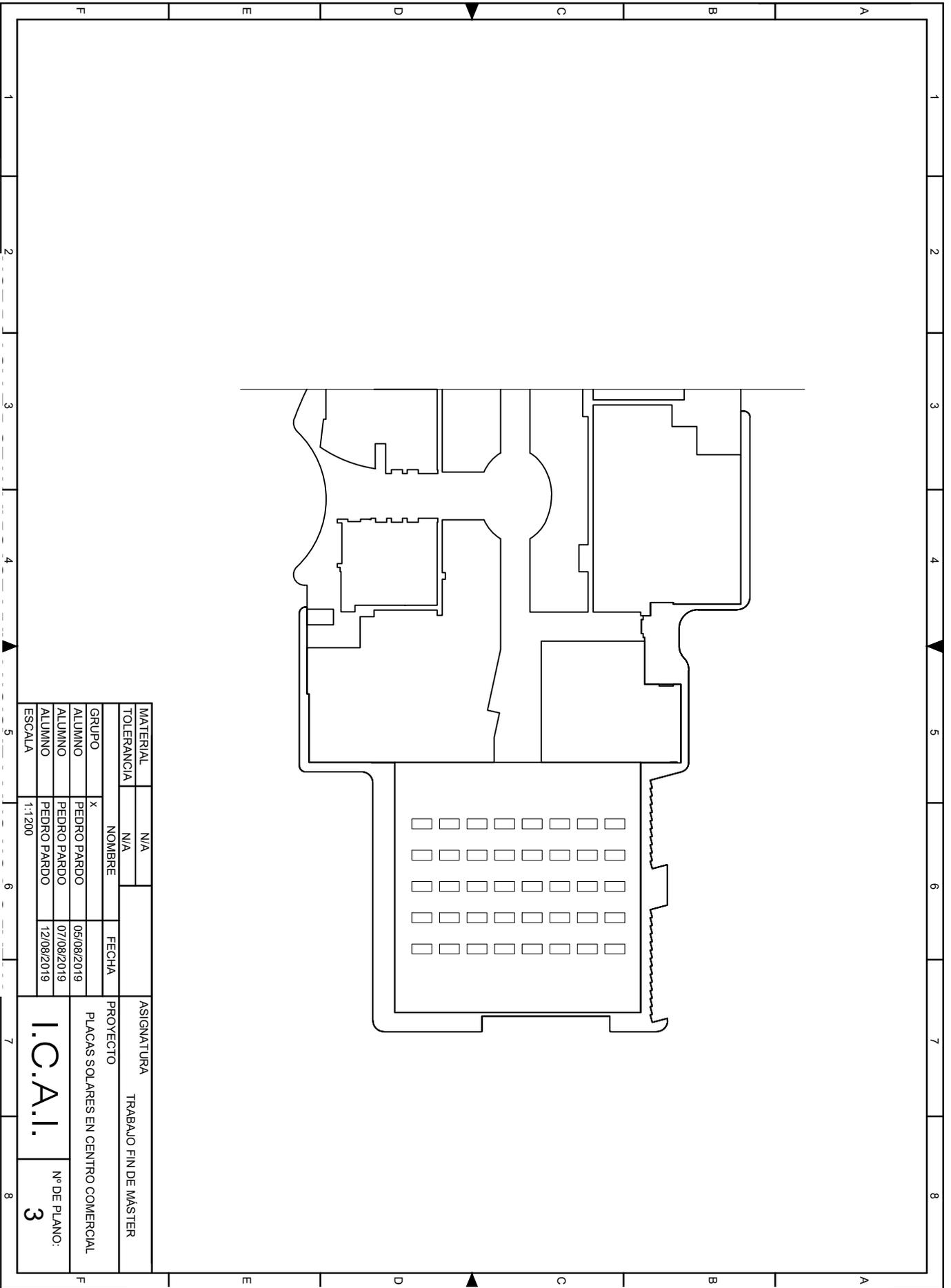
I.C.A.I.

Nº DE PLANO:
1

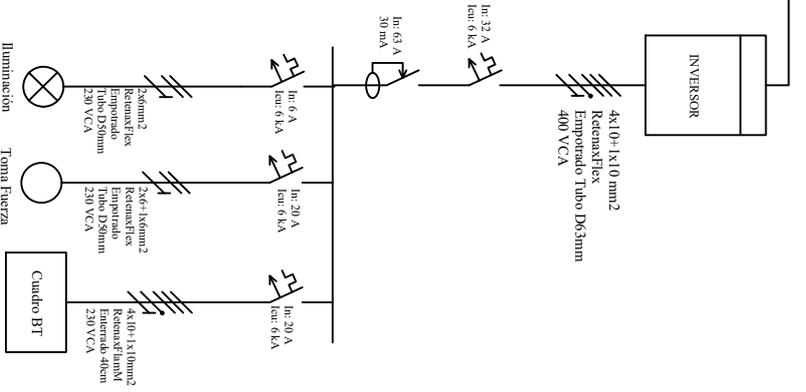
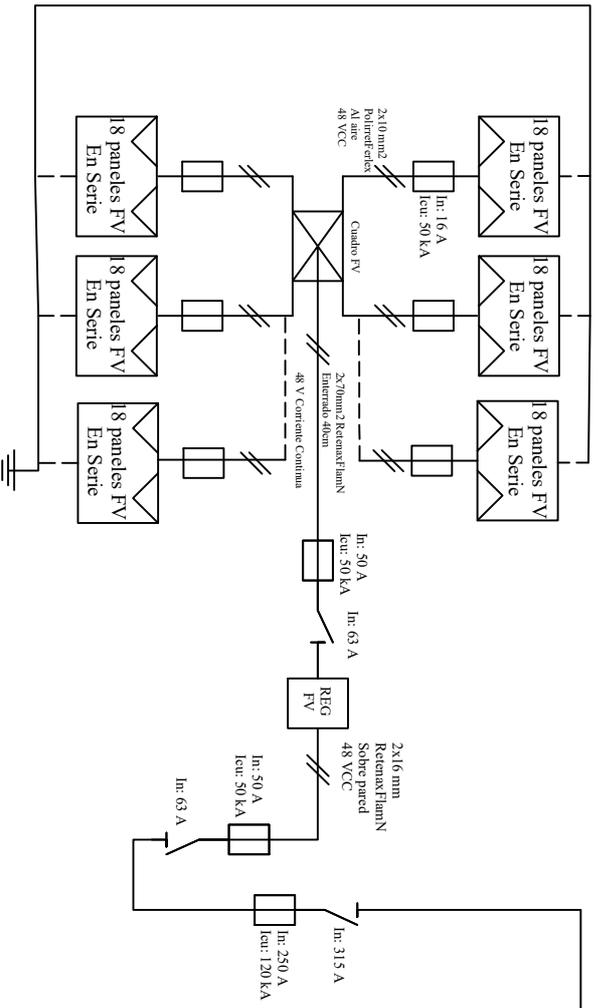


MATERIAL	N/A	ASIGNATURA	TRABAJO FIN DE MÁSTER
TOLERANCIA	N/A	PROYECTO	PLACAS SOLARES EN CENTRO COMERCIAL
GRUPO	X	FECHA	
ALUMNO	PEDRO PARDO	05/08/2019	
ALUMNO	PEDRO PARDO	07/08/2019	
ALUMNO	PEDRO PARDO	12/08/2019	
ESCALA	1:1200		

I.C.A.I.
Nº DE PLANO:
2

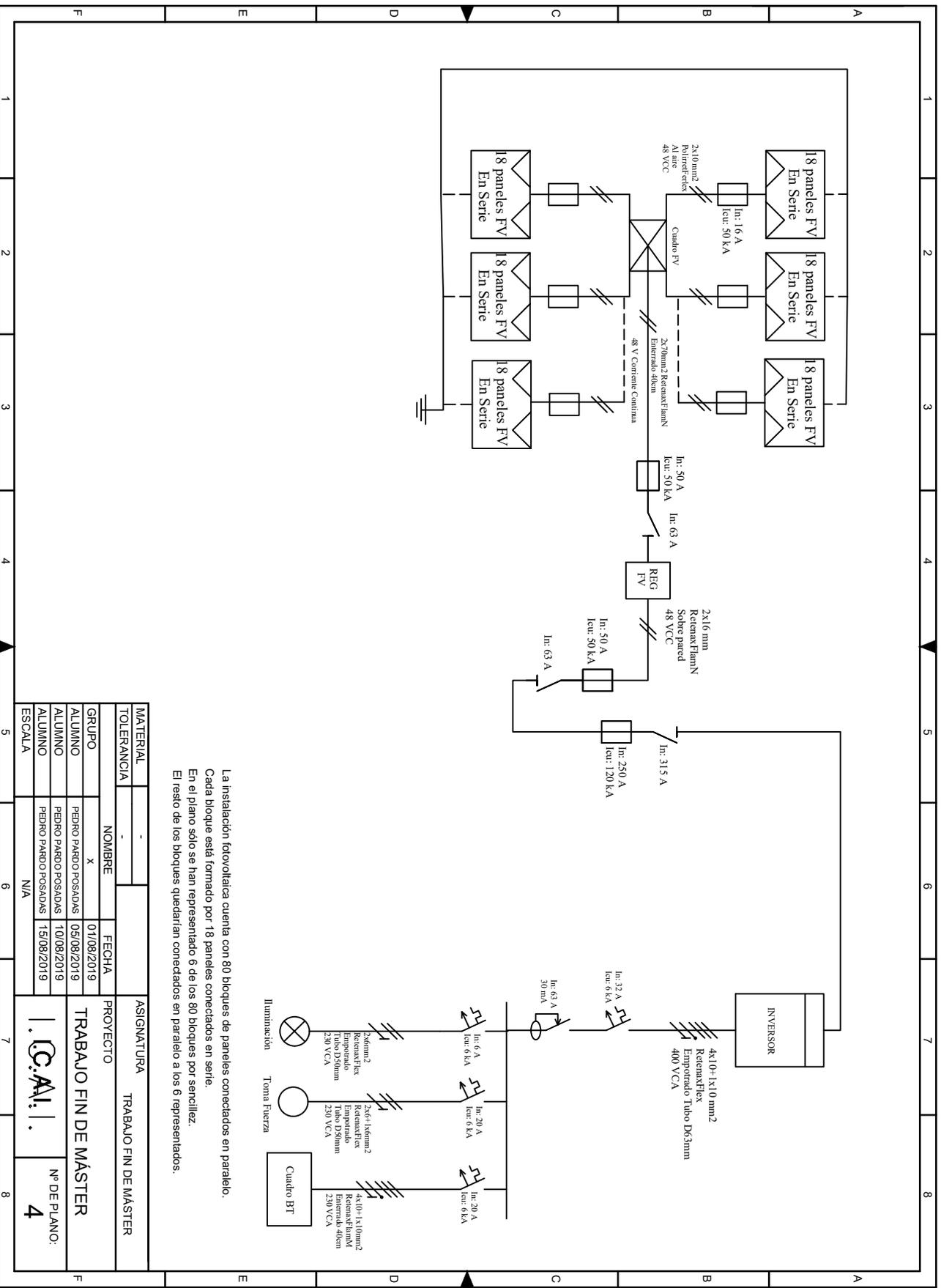


MATERIAL	N/A	ASIGNATURA	
TOLERANCIA	N/A	TRABAJO FIN DE MÁSTER	
GRUPO	X <td>NOMBRE</td> <td>FECHA</td>	NOMBRE	FECHA
ALUMNO	PEDRO PARDO		05/08/2019
ALUMNO	PEDRO PARDO		07/08/2019
ALUMNO	PEDRO PARDO		12/08/2019
ESCALA	1:1'200	PROYECTO	
		PLACAS SOLARES EN CENTRO COMERCIAL	
		I.C.A.I.	
		Nº DE PLANO: 3	

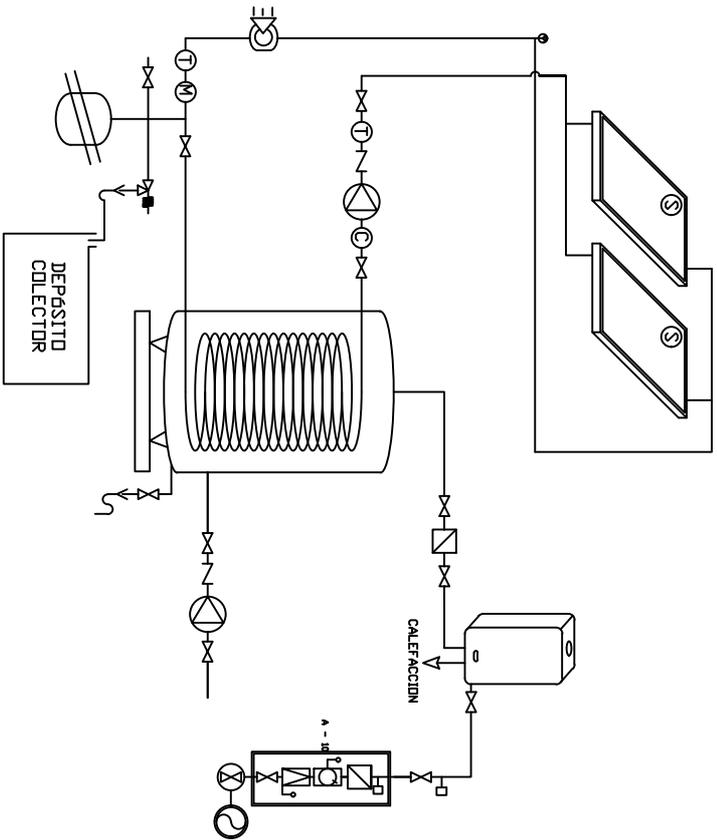


La instalación fotovoltaica cuenta con 80 bloques de paneles conectados en paralelo.
 Cada bloque está formado por 18 paneles conectados en serie.
 En el plano sólo se han representado 6 de los 80 bloques por sencillez.
 El resto de los bloques quedarían conectados en paralelo a los 6 representados.

MATERIAL	NOMBRE	FECHA	ASIGNATURA
TOLERANCIA	-		TRABAJO FIN DE MASTER
GRUPO	X	01/08/2019	TRABAJO FIN DE MASTER
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS	05/08/2019	.C.A.I. .
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS	10/08/2019	
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS	15/08/2019	
ESCALA	N/A		Nº DE PLANO: 4



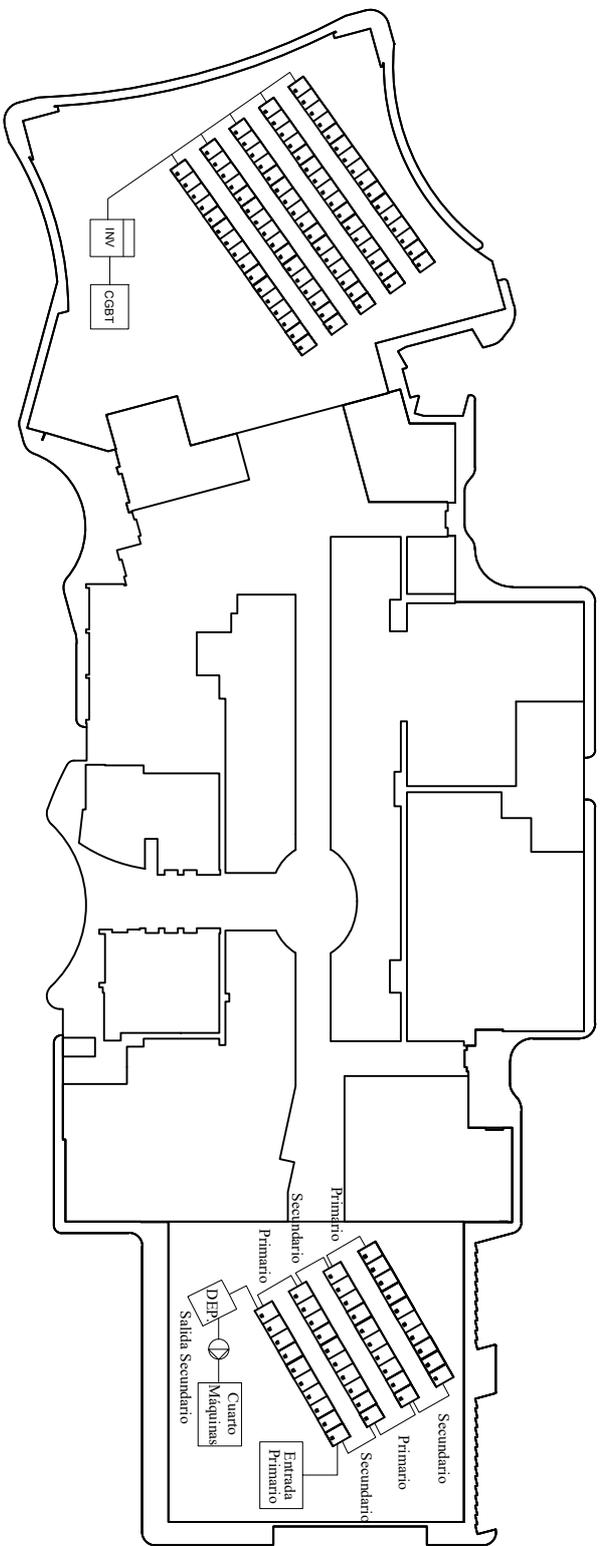
2	VALVULA ANTIRETORNIO
3	LLAVE DE PASO
4	VALVULA DE SEGURIDAD
5	MANOMETRO
6	TERMOSTATO
7	VALVULA ELECTROACTIVA A
8	DEPOSITO DE EXPANSION
9	MANOMETRO
10	PURGADOR AUTOMATICO
11	GRUPO DE PRESION
12	CAUDALIMETRO
13	VALVULA ANTIRRETORNO
14	SENSOR DE TEMPERATURA DEL
15	COLECTOR
16	PANEL SOLAR
17	CALENTADOR ESTANCO INSTANTANEO



1	ACINETIVA
2	LLAVE DE PASO
3	ARRANQUE DE REGULACION A - 10
4	REGULADOR DE CON VALVULA DE
5	SEGURIDAD AUTOMATICO INDEPENDIAN
6	LIMITADOR DE CAUDAL INVERTIDO
7	SENSOR DE TEMPERATURA DEL
8	COLECTOR
9	TEMP DE PRESION
10	LLAVE DE PASO Y PUNTO DE
11	CONSUMO
12	CALENTADOR ESTANCO EVALUACION GASES

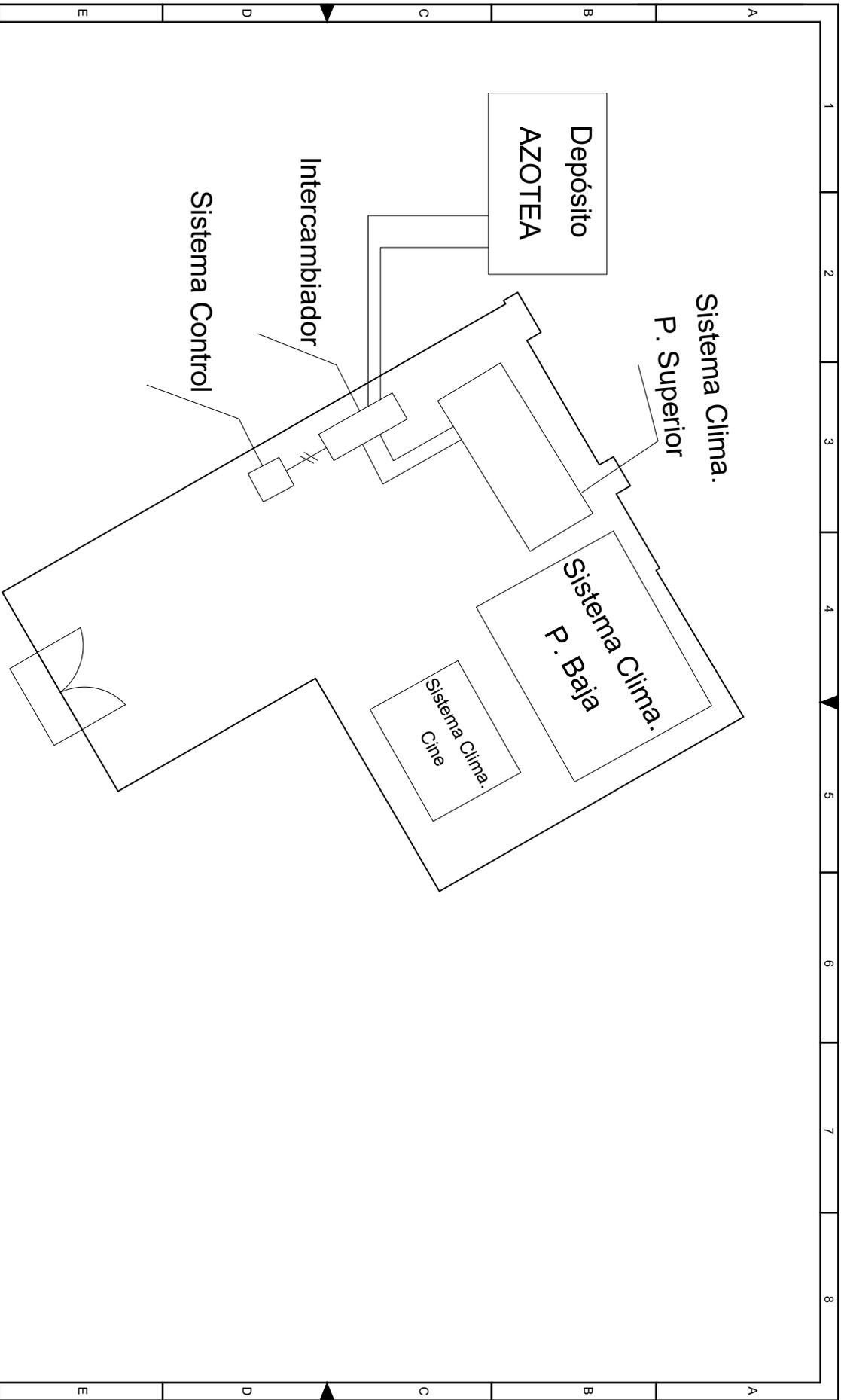
MATERIAL	-	ASIGNATURA	TRABAJO FIN DE MASTER
TOLERANCIA	-	PROYECTO	TRABAJO FIN DE MASTER
GRUPO	X	FECHA	01/08/2019
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS		05/08/2019
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS		10/08/2019
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS		15/08/2019
ESCALA	N/A		

| **C.A.I.** |
 N° DE PLANO:
5



MATERIAL	-	ASIGNATURA	TRABAJO FIN DE MÁSTER
TOLERANCIA	-	PROYECTO	TRABAJO FIN DE MÁSTER
GRUPO	X	FECHA	01/08/2019
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS	FECHA	05/08/2019
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS	FECHA	10/08/2019
ALUMNO	PEDRO PARDO POSADAS	FECHA	15/08/2019
ESCALA	1:1200		

I. Q. A. I. I.
 N° DE PLANO:
6



MATERIAL	TOLERANCIA	NOMBRE	FECHA	ASIGNATURA	TRABAJO FIN DE MÁSTER
GRUPO		X	01/08/2019	PROYECTO	TRABAJO FIN DE MÁSTER
ALUMNO		PEDRO PARDO POSADAS	05/08/2019		
ALUMNO		PEDRO PARDO POSADAS	10/08/2019		
ALUMNO		PEDRO PARDO POSADAS	15/08/2019		
ESCALA		1:100			

I. G. A. I. I.
 N° DE PLANO:
7

5. *Anexos*

5.1. Elección de los paneles solares térmicos

Como se ha mencionado en el apartado *Instalación solar térmica* para elegir los paneles o colectores solares lo que se ha hecho es comparar treinta modelos de paneles distintos. Dichos modelos forman parte de los catálogos de diez de los más importantes fabricantes que actualmente venden sus productos en España.

Los diez fabricantes son: Astersa Aplicaciones Solares S.L., Ergasol 2000 S.L., Hucu Solar España S.L., Productos de Energías Naturales S.L., PMP Equipos Energéticos S.L., Rayosol Instalaciones S.L., Solaris Energía Solar S.A., Termicol Energía Solar S.L., Grupo Unisolar S.A., e Isofotón S.A.

Para dar con el modelo óptimo se ha utilizado la herramienta Excel de Microsoft. En concreto, se ha seguido el siguiente proceso:

1.- En primer lugar, utilizando la herramienta Excel, y valiéndose de las llamadas Macros, se ha creado una casilla que sirve como entrada de información (dato que introduce el usuario) y una columna con varias salidas, así como una tabla con varias celdas que también son salidas de información.

Como puede verse en la siguiente figura, la entrada de información es simplemente la provincia en la que se ubicará la instalación solar térmica, en este caso Valladolid.

Una vez introducido este dato, la herramienta Excel, da al usuario distintos valores que incluyen: latitud, altitud, humedad relativa, temperatura máxima en verano, temperatura máxima en invierno, temperatura del agua de red, radiación horizontal, etc.

Algunos de estos datos como por ejemplo las temperaturas medias del ambiente y las temperaturas medias del agua de red se desglosan a su vez en meses. También se incluye una media anual como puede verse en la última columna de esta tabla.

Cabe señalar que el origen de los datos es el libro “Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas” redactado por el Centro de Estudios de la Energía que pertenece al Ministerio de Industria y Energía.

DATOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS														
5		Provincia:							Valladolid					
6		Latitud de cálculo:							41,65					
7		Latitud [°/min.]:							41,39					
8		Altitud [m]:							694,00					
9		Humedad relativa media [%]:							45,00					
10		Velocidad media del viento [Km/h]:							10,00					
11		Temperatura máxima en verano [°C]:							33,00					
12		Temperatura mínima en invierno [°C]:							-5,00					
13		Variación diurna:							13,00					
14		Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):							1444	(Período Noviembre/Marzo)				
15		Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):							1709	(Todo el año)				
17	Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
18	Tª. media ambiente	3,30	5,10	8,60	11,00	14,10	18,50	21,30	20,40	17,80	12,90	7,70	4,40	7,1
19	Tª. media agua	10,0	11,2	12,4	13,6	14,8	16,0	17,2	16,0	14,8	13,6	12,4	11,2	13,6
20	Rad. horiz. [kJ/m ² /h]	4.468	10.354	12.940	16.958	19.436	22.800	24.932	22.760	16.030	10.924	6.068	3.624	14.275
21	Rad. inclin. [kJ/m ² /h]	7.177	16.491	16.168	17.173	17.125	18.783	21.020	21.797	18.559	13.163	10.132	5.821	15.284
23	ORIGEN DE LOS DATOS:	Libro "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas".												
24	ORGANISMO:	Centro de Estudios de la Energía (Ministerio de Industria y Energía).												

Figura 5.- Datos geográficos y climatológicos para la elección de los paneles solares térmicos

2.- En segundo lugar, se ha recopilado información de los treinta modelos a comparar mencionados anteriormente. Después de recopilar toda esta información se ha ordenado en forma de tabla en una Hoja de la herramienta Excel.

Algunos de los datos que se han buscado, obtenido y ordenado en dicha tabla son: modelo, tipo de panel, eficiencia óptica, coeficientes a1 y a2, coeficiente de pérdidas, dimensiones, superficie, precio...

La siguiente figura muestra la tabla creada en Excel con la información relativa a los treinta modelos de placas solares térmicas a comparar.

Fabricante	Modelo	Tipo	Eficiencia Óptica	a1	a2	Coef. Pérdidas	Dimensiones	Superficie	Peso vacío	Volumen	Precio
		Características	Basado en superficie	(W/m ² K)	(W/m ² K)	IDA: a1 + 30a2 (W/m ² K)	LargoxAnchoxFondo (mm)	(m ²)	(kg)	(L)	Sin IVA (€)
Asteria Aplicaciones Solares, S. L.	AS-2M	PLANO	0,776	3,635	0,013	4,025	2067 x 1080 x 106	2	42,5	2,4	730
Asteria Aplicaciones Solares, S. L.	AS-2-4M	PLANO	0,775	3,809	0,011	4,139	2069 x 1263 x 106	2,4	49	2,32	650
ER GASOL 2000 S.L.	GASOL 1	PLANO	0,725	6,222	0,043	7,512	2002 x 1042 x 70	1,9	44	2,32	590
ER GASOL 2000 S.L.	MODELO 150L	TERMOSIFON	0,725	6,222	0,043	7,512	2002 x 1042 x 70	1,9	44	2,32	580
ER GASOL 2000 S.L.	MODELO 200L	TERMOSIFON	0,725	6,222	0,043	7,512	2002 x 1042 x 70	1,9	44	2,32	600
ER GASOL 2000 S.L.	MODELO 300L	TERMOSIFON	0,725	6,222	0,043	7,512	2002 x 1042 x 70	1,9	44	2,32	590
ER GASOL 2000 S.L.	MODELO 500L	TERMOSIFON	0,725	6,222	0,043	7,512	2002 x 1042 x 70	1,9	44	2,32	590
Huico Solar España, S.L.	HUCUSOL/1000-VP	PLANO	0,769	3,313	0,019	3,883	2095 x 1098 x 100	1,99	41,5	3,84	720
Huico Solar España, S.L.	HUCUSOL2/1000-VP	PLANO	0,745	3,423	0,027	4,233	2097 x 1097 x 100	1,99	42,3	3,85	690
Huico Solar España, S.L.	HUCUSOL TC 200 150	TERMOSIFON	0,745	3,423	0,027	4,233	2097 x 1097 x 100	1,99	42,3	3,86	670
Productos de Energías Naturales, S.L.	AQUA CTE INV	PLANO	0,798	2,832	0,028	3,672	2048 x 1047 x 86	1,99	52,8	2,32	860
P.M.P. Equipos Energéticos, S. L.	V-1	PLANO	0,75	2,743	0,028	6,9	2000 x 1000 x 88	1,88	48,5	2,4	810
P.M.P. Equipos Energéticos, S. L.	TITANIO V-1	PLANO	0,74	2,713	0,027	6,9	2000 x 1000 x 88	1,88	48,5	2,4	800
P.M.P. Equipos Energéticos, S. L.	H-2	PLANO	0,77	2,743	0,028	6,9	1000 x 2000 x 88	1,88	48,5	2,4	840
P.M.P. Equipos Energéticos, S. L.	TITANIO H-2	PLANO	0,74	2,713	0,027	4,9	1000 x 2000 x 88	1,88	48,5	2,4	800
P.M.P. Equipos Energéticos, S. L.	TITANIO V-1 K Horizontal	PLANO	0,804	3,516	0,026	4,296	1003 x 2002 x 88	1,86	48,5	2,4	790
P.M.P. Equipos Energéticos, S. L.	TITANIO V-1 K Vertical	PLANO	0,804	3,516	0,026	4,296	2002 x 1003 x 88	1,86	48,5	2,4	790
Rayosol Instalaciones, S.L	V-19	PLANO	0,75	5,266	0,017	5,776	1825 x 115 x 99	1,9	40	3,84	580
Rayosol Instalaciones, S.L	V-22 h	PLANO	0,731	4,434	0,016	4,914	1771 x 1325 x 95	2,15	45	1,9	590
Rayosol Instalaciones, S.L	V-22 v	PLANO	0,725	4,292	0,021	4,922	1325 x 1771 x 95	2,15	45	1,9	590
Solaris Energía Solar, S. A.	CP 1	PLANO	0,799	3,4	0,026	4,18	2050 x 1055 x 80	2	32,8	2,32	780
Solaris Energía Solar, S. A.	CP 2	PLANO	0,826	4,001	0,023	4,691	2055 x 1055 x 80	2,01	34,1	2,32	730
Solaris Energía Solar, S. A.	T 25 SH	PLANO	0,731	4,308	0,016	4,788	2108 x 1187 x 80	2,35	18,5	2,32	620
Grupo Unisol, S.A.	UNISOL 60 PLUS	PLANO	0,797	4,273	0,006	4,453	2020 x 1020 x 87	1,91	34,2	2,4	630
Grupo Unisol, S.A.	UNISOL 60 BASIC	PLANO	0,77	3,566	0,024	4,286	2020 x 1020 x 90	1,9	28,2	2,4	750
Grupo Unisol, S.A.	UNISOL TS 300	TERMOSIFON	0,77	3,566	0,024	4,286	2020 x 1020 x 90	1,9	28,2	2,4	750
Isotóhn, S.A.	COBERT	PLANO	0,77	3,231	0,014	3,651	2277 x 1075 x 112	2,213	48	1,5	760
Isotóhn, S.A.	EXTRATHERMIC	PLANO	0,77	3,231	0,014	3,651	2277 x 1075 x 112	2,213	48	1,5	760
Isotóhn, S.A.	SOL THERM	PLANO	0,77	3,231	0,014	3,651	2277 x 1075 x 112	2,213	48	1,5	780
Isotóhn, S.A.	CTP	PLANO	0,77	3,231	0,014	3,651	2277 x 1075 x 112	2,213	48	1,5	740

Figura 34.- Modelos de placas solares térmicas a comparar.

3.- En esta tercera fase del proceso lo que se ha hecho es comparar los distintos modelos disponibles atendiendo a sus curvas de rendimiento. Se puede encontrar información detallada sobre las curvas de rendimiento de los paneles solares térmicos en el apartado referente a *Tecnología de la energía solar térmica*, dentro del apartado *Descripción del proyecto*.

En concreto, lo que se ha hecho es comparar los distintos modelos teniendo en cuenta únicamente los datos de eficiencia óptica y el coeficiente lineal de pérdidas (a1), que, por otro lado, son los más importantes a la hora de elegir un panel para instalar placas solares térmicas.

La siguiente figura muestra un detalle de la hoja Excel en la que se ha hecho esta comparativa de modelos. El detalle muestra las entradas de datos de los paneles. Bien es cierto que los distintos modelos de paneles utilizan distintos volúmenes de acumulación, caudales en los circuitos primario y secundario, etc. Sin embargo, en este punto sólo se comparan las distintas curvas de rendimiento de los paneles pues son los factores más críticos a la hora de elegir el diseño.

DATOS RELATIVOS AL SISTEMA	
Curva de rendimiento del colector: $r = 0,776 - 3,635 \cdot (t_e - t_a) / I_t$	
t_e :	Temperatura de entrada del fluido al colector
t_a :	Temperatura media ambiente
I_t :	Radiación en $[W/m^2]$
Factor de eficiencia del colector:	0,776
Coefficiente global de pérdida $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$:	3,635
Volumen de acumulación $[L/m^2]$:	3
Caudal en circuito primario $[(L/h)/m^2] - [(Kg/h)/m^2]$:	50
Caudal en circuito secundario $[(L/h)/m^2] - [(Kg/h)/m^2]$:	46
Calor específico en circuito primario $[Kcal/(Kg \cdot ^\circ C)]$:	0,9
Calor específico en circuito secundario $[Kcal/(Kg \cdot ^\circ C)]$:	1
Eficiencia del intercambiador:	0,95

DATOS

Figura 6.- Detalle de la herramienta Excel para comparar los distintos modelos disponibles atendiendo a sus curvas de rendimiento

Para el resto de los datos de entrada, se han usado los siguientes valores en los treinta modelos a comparar.

Volumen de acumulación $[L/m^2]$	3
Caudal en el circuito primario $[(L/h)/m^2]$	50
Caudal en el circuito secundario $[(L/h)/m^2]$	46
Calor específico en circuito primario $[Kcal/(Kg \cdot ^\circ C)]$	0,9
Calor específico en circuito secundario $[Kcal/(Kg \cdot ^\circ C)]$	1
Eficiencia del intercambiador	0,95

Tabla 11.- Datos de entrada compartidos para la comparación de modelos de placas solares térmicas

Como apunte aclaratorio, lo que se hace es comparar los ahorros que se consiguen con los distintos modelos de placas solares térmicas teniendo en cuenta sus curvas de rendimiento.

Datos relativos a los caudales y valores específicos de los circuitos primario y secundario no es en este punto importante ir modificándolos. De hecho, en los treinta modelos comparados, estos datos suelen ser muy parecidos.

Puede variar el fluido de trabajo de las placas, pero estas variaciones habitualmente se traducen en una ligera diferencia de precio que no es relevante. Como la instalación está pensada para trabajar durante muchos años (veinte), se ignorará cualquier efecto que pudiera provocar una ligera diferencia de precios en los fluidos de trabajo.

Más adelante, atendiendo al pliego de condiciones del IDAE, se instalarán las placas del modelo elegido de tal manera que se consiga un ahorro total óptimo. Pero este paso ya se estará haciendo sabiendo que de entre los treinta modelos comparados se está usando el mejor (con el que más ahorro energético se consigue) teniendo en cuenta que la instalación se hará en Valladolid y que el diseño es para atender las necesidades de un centro comercial.

Antes de mostrar los resultados obtenidos para cada modelo, se muestra una tabla de salida de datos presente en la hoja Excel con la que se ha trabajado.

En esta tabla de salida se muestran las necesidades energéticas promedio para cada mes en el citado centro comercial. Estos resultados han tenido en cuenta el emplazamiento y el reglamento propuesto por el IDAE para este tipo de instalaciones.

CÁLCULO ENERGÉTICO													
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Grados-día [°C]	200,0	189,2	179,0	152,1	90,3	0,0	0,0	0,0	4,1	109,7	185,0	229,1	1338,4
Ener. Nec. [Kca]	14.148	13.387	12.664	10.759	6.389	0	0	0	289	7.763	13.090	16.207	94.695

Figura 36.- Necesidades energéticas de calefacción del centro comercial desglosadas por meses

Por supuesto, para calcular las necesidades energéticas mostradas en la figura anterior deben introducirse en el programa las características del centro comercial en cuestión.

En este caso hay dos datos críticos: la localización del centro comercial (dato ya introducido) y la superficie que se pretende calentar.

La siguiente figura muestra un detalle del programa Excel que se ha utilizado y en el que se ha introducido la superficie que se pretende calentar con el objetivo de calcular las necesidades energéticas que aparecen detalladas en la figura anterior.

DATOS RELATIVOS A LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS													
								1657		MODIFICAR			
								20					
								35					
								0,78					
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
% de ocupación	43,88	52,38	61,42	72,41	74,69	60,31	57,3	64,23	68	69,4	59,87	54,33	62

Figura 7.- Datos relativos a las necesidades del sistema de calefacción

Como puede deducirse, el único dato que se modifica en el programa Excel creado es la superficie a calefactar. En este caso serán 1.657 metros cuadrados. Si se pretendiera calefactar otro centro comercial en otro lugar de España, atendiendo al pliego de condiciones del IDAE, las temperaturas de diseño y de utilización del local serán también de 20 y 35 grados centígrados respectivamente.

4.- Por último, se van comparando los distintos modelos de placas solares térmicas y se van recopilando los datos obtenidos de estos modelos. El dato más importante es el tanto por ciento de ahorro que se consigue con dichos modelos.

La siguiente figura muestra un detalle de la hoja Excel con la que se ha trabajado. El dato de salida más importante mencionado anteriormente corresponde con la celda resaltada en color amarillo. La figura muestra el resultado del modelo que se elegirá para el diseño final: se consigue un ahorro del 60,238% en cuanto a la calefacción de la superficie del centro comercial que se pretende calefactar.

Número de modelo	Eficiencia óptica	Coef. pérdidas lineal	% de ahorro energético	Precio [€]
1	0.776	3.635	52,321	730
2	0.773	3.809	50,837	650
3	0.725	6.222	35,277	590
4	0.725	6.222	35,277	580
5	0.725	6.222	35,277	600
6	0.725	6.222	35,277	590
7	0.725	6.222	35,277	590
8	0.769	3.313	54,335	720
9	0.745	3.423	51,746	690
10	0.745	3.423	51,746	670
11	0.798	2.832	60,238	610
12	0.75	2.743	57,778	810
13	0.74	2.713	57,341	800
14	0.77	2.743	59,13	840
15	0.74	2.713	57,341	800
16	0.804	3.516	55,146	790
17	0.804	3.516	55,146	790
18	0.75	5,266	40,656	580
19	0.731	4,434	43,69	590
20	0.725	4,292	44,124	590
21	0.799	3.4	55,713	780
22	0.826	4.001	53,89	730
23	0.731	4.308	44,467	620
24	0.797	4.273	49,358	630
25	0.77	3.566	55,072	750
26	0.77	3.566	55,072	750
27	0.77	3.231	55,072	760
28	0.77	3.231	55,072	760
29	0.77	3.231	55,072	780
30	0.77	3.231	55,072	740

Tabla 12.- Resultados de la comparación de modelos de placas solares térmicas

Número de modelo	Eficiencia óptica	Coef. pérdidas lineal	% de ahorro energético	Precio [€]
11	0.798	2.832	60,238	860
14	0.77	2.743	59,13	840
12	0.75	2.743	57,778	810
13	0.74	2.713	57,341	800
15	0.74	2.713	57,341	800
21	0.799	3.4	55,713	780
16	0.804	3.516	55,146	790
17	0.804	3.516	55,146	790
25	0.77	3.566	55,072	750
26	0.77	3.566	55,072	750
27	0.77	3.231	55,072	760
28	0.77	3.231	55,072	760
29	0.77	3.231	55,072	780
30	0.77	3.231	55,072	740
8	0.769	3.313	54,335	720
22	0.826	4.001	53,89	730
1	0.776	3.635	52,321	730
9	0.745	3.423	51,746	690
10	0.745	3.423	51,746	670
2	0.773	3.809	50,837	650
24	0.797	4.273	49,358	630
23	0.731	4.308	44,467	620
20	0.725	4,292	44,124	590
19	0.731	4,434	43,69	590
18	0.75	5,266	40,656	580
3	0.725	6.222	35,277	590
4	0.725	6.222	35,277	580
5	0.725	6.222	35,277	600
6	0.725	6.222	35,277	590
7	0.725	6.222	35,277	590

Tabla 13.- Resultados de la comparación de modelos de placas solares térmicas ordenados según el ahorro conseguido

Como apunte, destacar que, como es lógico, por normal general (aunque no siempre es así) a mayor ahorro conseguido más dinero habrá que pagar por cada panel. Sin embargo, el precio no constituirá un criterio de decisión pues está instalación solar se diseña para que funcione por más de 20 años y por ello las diferencias de precio resultan insignificantes en comparación con las diferencias en los ahorros conseguidos.

Otro aspecto que resulta importante destacar es el hecho de que existen modelos que proporcionan el mismo ahorro y tienen precios distintos. Esto simplemente es una consecuencia del hecho de que los modelos provienen de distintos fabricantes y distintos distribuidores.

Para terminar, se detallan las características del modelo elegido:

El modelo elegido es el número 11 (como puede verse en las tablas anteriores) y cuenta con las siguientes características:

Distribuidor	NEP
Fabricante	Productos de Energías Naturales, S.L.
Modelo	AQUA CTE INV
Tipo	Plano
Eficiencia Óptica	0,798
A1 [W/m²·K]	2,832
A2 [W/m²·K²]	0,028
Dimensiones (LxAxF) [mm]	2048x1047x86
Superficie [m²]	1,99
Peso vacío [kg]	52,8
Volumen [L]	2,32
Precio [€]	610
Fluido de trabajo	Fluido: glicol-agua

Tabla 14.- Características del modelo de placas solares térmicas elegido

5.2. Estudio sobre seguridad y salud

En este apartado se exponen las medidas de seguridad y bajo las que deben acogerse los responsables últimos de la obra civil y del mantenimiento de las instalaciones diseñadas. Para cada instalación (fotovoltaica y térmica) hay una normativa específica.

En concreto, lo expuesto en este apartado son extractos del pliego de condiciones que aparece en el apartado 2 de este documento. Es decir, son extractos de los pliegos de condiciones del IDAE.

Estos pliegos de condiciones se encuentran referenciados oportunamente en la bibliografía, y atienden a las referencias [25] y [26].

[25] Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. (2011). *IDAE*.

[26] Instalaciones de Energía Solar Térmica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. (2009). *IDAE*.

A continuación se muestran las medidas de seguridad y salud a cumplir en cuanto a la instalación solar fotovoltaica:

- Las centrales fotovoltaicas, independientemente de la tensión a la que estén conectadas a la red, estarán equipadas con un sistema de protecciones que garantice su desconexión en caso de un fallo en la red o fallos internos en la instalación de la propia central, de manera que no perturben el correcto funcionamiento de las redes a las que estén conectadas, tanto en la explotación normal como durante el incidente.
- La central fotovoltaica debe evitar el funcionamiento no intencionado en isla con parte de la red de distribución, en el caso de desconexión de la red general. La protección anti-isla deberá detectar la desconexión de red en un tiempo acorde con los criterios de protección de la red de distribución a la que se conecta, o en el tiempo máximo fijado por la normativa o especificaciones técnicas correspondientes. El sistema utilizado debe funcionar correctamente en paralelo con otras centrales eléctricas con la misma o distinta tecnología, y alimentando las cargas habituales en la red, tales como motores.
- Todas las centrales fotovoltaicas con una potencia mayor de 1 MW estarán dotadas de un sistema de teledesconexión y un sistema de teled medida. La función del sistema de teledesconexión es actuar sobre el elemento de conexión de la central eléctrica con la red de distribución para permitir la desconexión remota de la planta en los casos en que los requisitos de seguridad así lo recomienden.
- Las centrales fotovoltaicas deberán estar dotadas de los medios necesarios para admitir un reenganche de la red de distribución sin que se produzcan daños. Asimismo, no producirán sobretensiones que puedan causar daños en otros

equipos, incluso en el transitorio de paso a isla, con cargas bajas o sin carga. Igualmente, los equipos instalados deberán cumplir los límites de emisión de perturbaciones indicados en las normas nacionales e internacionales de compatibilidad electromagnética.

Del mismo modo, se muestran a continuación las medidas de seguridad y salud a cumplir en cuanto a la instalación solar térmica:

El pliego de condiciones, Instalaciones de Energía Solar Térmica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. (2009). *IDAE*, establece que, a la hora de ejecutar proyectos de este tipo, la normativa a cumplir es la siguiente:

- Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas.
- Reglamento de Recipientes a Presión (RAP).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT).
- Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).
- Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).
- Ley número 88/67 de 8 de noviembre: Sistema Internacional de Unidades de Medida SI.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Orden de 28 de julio de 1980, por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los paneles solares.
- Orden ITC/71/2007, de 22-01-2007, por la que se modifica el anexo de la Orden 28-07-1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- Orden ITC/2761/2008, de 26 de septiembre, por la que se amplía el plazo establecido en la disposición transitoria segunda de la Orden ITC/71/2007, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.

5.3. Bibliografía

- [1] Real Academia Española. (2019). “Edición del Tricentenario.” *Energía*. <<https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>>
- [2] Twenergy. (2019). “Una iniciativa de Endesa por la eficiencia y la sostenibilidad.” *Energía Eléctrica*. <<https://twenergy.com/energia/energia-electrica>>
- [3] Diario Renovables. (2019). “Generación Eléctrica en España 2018: recuperación renovable y descenso de las emisiones.” *Sergio Fernández*. <https://www.diariorenovables.com/2019/01/generacion-electrica-en-espana-2018_17.html>
- [4] Departamento de territorio y sostenibilidad, Generalitat de Catalunya (2019). “Historia del uso de la energía.” <http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/educacio_i_sostenibilitat/educacio_per_a_la_sostenibilitat/suport_educatiu/experiencies_centres/energia/informacio/2>
- [5] Acciona. (2019). “Energías Renovables.” <<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>>
- [6] BP. (2019). “¿Qué son los biocombustibles?” <https://www.bp.com/es_es/spain/medio-ambiente-y-sociedad/biocombustibles/que-son-los-biocombustibles.html>
- [7] Asociación de Empresas de Energías Renovables. (2018). “¿Qué es la biomasa?” <<https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>>
- [8] Acciona. (2019). “Energías Eólica.” <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/?gclid=CjwKCAjw6vvoBRBtEiwAZq-T1Te3Z0VEMxC8DUQV69ugD07cNcdbf12CSrIs3dcrnOObX_3i8DiEGB0CBtYQAvD_BwE>
- [9] Twenergy. (2012). “¿Qué es la energía hidráulica?” <<https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-hidraulica-426>>
- [10] Asociación de Empresas de Energías Renovables. (2018). “Energía Primaria y Producción Eléctrica.” <<https://www.appa.es/la-energia-en-espana/energia-primaria-y-produccion-electrica/>>
- [11] Veolia. (2019). “Energía Geotérmica.” <<https://www.veolia.es/es/servicios/actividades/eficiencia-energetica/energia-geotermica>>
- [12] IDAE. (2019). “Energías del mar.” <<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/energias-del-mar>>

- [13] Acciona. (2019). “Energía Solar.” <<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>>
- [14] Energía 16. (2016). “Preparando un futuro con Energía Solar.” *Tomás Gómez San Román*. <<https://www.energia16.com/preparando-un-futuro-con-energia-solar/>>
- [15] Cosas de Tecnología. (2016). “Tipos de Energía Solar.” *Rubén Flores*. <<https://www.tecnocosas.es/tipos-energia-solar/>>
- [16] Iberdrola. (2019). “Qué es la energía solar fotovoltaica.” <<https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>>
- [17] Soty Solar. (2017). “Seguidores solares: todo lo que necesitas saber.” <<https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares>>
- [18] Obremo. (2018). “La energía solar térmica y sus ventajas.” <<https://www.obremo.es/la-energia-solar-termica-y-sus-ventajas/>>
- [19] Ekidom Energías Renovables. (2019). “Tipos de instalaciones solares térmicas.” <<http://www.ekidom.com/tipos-de-instalaciones-solares-termicas>>
- [20] Calculation Solar. (2019). “Componentes de una instalación solar fotovoltaica.” <<http://calculationsolar.com/es/componentes.php>>
- [21] Fuentes de Energías Renovables. (2019). “Energía Solar Térmica.” <<https://www.fuentesdeenergiarenovables.com/energia-solar/energia-solar-termica/>>
- [22] Naturgy. (2019). “Tipos de paneles solares fotovoltaicos y características.” <<http://www.empresaeficiente.com/blog/tipos-de-paneles-solares-fotovoltaicos-y-caracteristicas/>>
- [23] Instalaciones y eficiencia energética. (2019). “Paneles solares térmicos, ¿Cuál Elegimos?” <<https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/paneles-solares-termicos-cual-elegimos/>>
- [24] Fenercom. (2019). “Guía de Auditoría Energéticas en Centros Comerciales” <<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-Auditorias-Energeticas-en-Centros-Comerciales-fenercom-2010.pdf>>
- [25] Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. (2011). *IDAE*.
- [26] Instalaciones de Energía Solar Térmica – Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. (2009). *IDAE*.