



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE GRADO EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN CENTRO COMERCIAL Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Nicolás Bravo Priegue  
Director: Luis Javier Mata García

Madrid  
Julio de 2022



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN CENTRO COMERCIAL Y AHORRO  
CON ENERGÍAS RENOVABLES

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2021/2022 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.: Nicolás Bravo Priegue

Fecha: 10/ 07/ 2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Luis Javier Mata García

Fecha: ...../ ...../ .....



Luis Javier Mata

2022.07.11

17:18:17 +02'00'



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

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

El autor D. Nicolás Bravo Priegue DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN CENTRO COMERCIAL Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

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

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

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

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

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

### ***4º. Derechos del autor.***

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

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

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

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

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

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

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad 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 10 de julio de 2022

ACEPTA



Fdo: Nicolás Bravo Priegue



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE GRADO EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN CENTRO COMERCIAL Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Nicolás Bravo Priegue  
Director: Luis Javier Mata García

Madrid  
Julio de 2022



# EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN CENTRO COMERCIAL Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES

**Autor: Bravo Priegue, Nicolás.**

Director: Mata García, Luis Javier.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### 1. INTRODUCCIÓN

El compromiso con el medio ambiente es uno de los requisitos fundamentales a la hora de desarrollar cualquier proyecto en la actualidad. Después de cientos de años abusando de los recursos limitados del planeta ha llegado un punto en el que es necesario un cambio de paradigma en la generación de energía que nos lleve a un modelo de producción más sostenible y responsable. La sobreexplotación de recursos limitados como los combustibles fósiles en la producción de energía ha ocasionado unos niveles alarmantes de contaminación, de los que ya son visibles algunas de sus consecuencias. Por ello, es importante empezar a adoptar medidas antes de que sea demasiado tarde. Las soluciones pasan por el uso de fuentes de energía renovables, así como una reducción del consumo; en definitiva, lo que se conoce como eficiencia energética. Este término hace referencia a una optimización del consumo de la energía, haciendo una mejor gestión de la misma para reducir los niveles de emisión de gases de efecto invernadero a la vez que se promueve el uso de sistemas de generación limpios basados en fuentes de energía renovables.

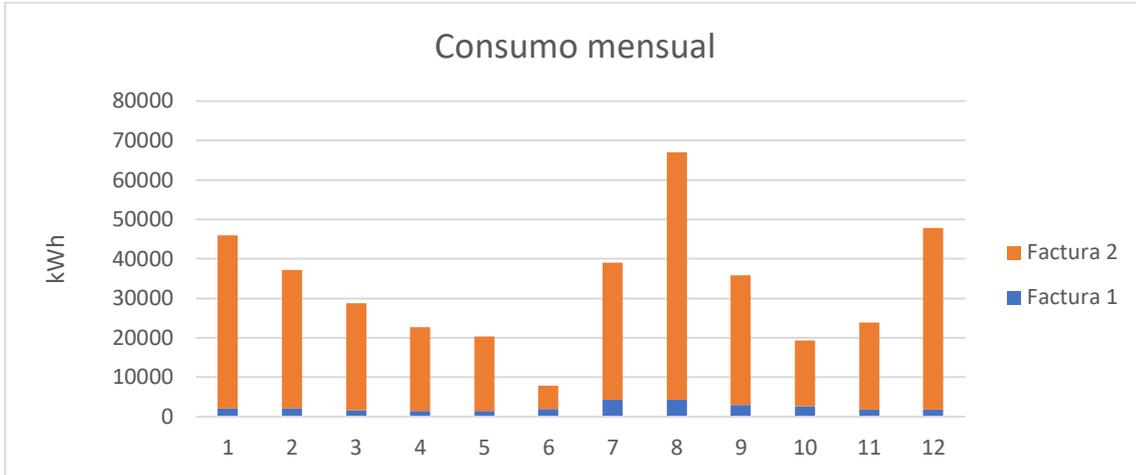
Debido a su alta actividad y a las grandes superficies que ocupan, los centros comerciales se posicionan como uno de los lugares con mayor consumo eléctrico dentro de una ciudad. Es por ello que, a través de este proyecto, se pretende conseguir una mayor eficiencia energética mediante el uso de fuentes de energía renovables, concretamente la solar fotovoltaica, que consigan disminuir de manera notable las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Se quiere demostrar la viabilidad y rentabilidad de este tipo de instalaciones, por lo que se ha marcado como objetivo producir al menos el 75% de la demanda del centro comercial.

La instalación diseñada será de autoconsumo sin excedentes, lo que quiere decir que utilizará la energía que produzcan los paneles solares siempre que se pueda y estará conectada a la red para recibir energía en periodos de alta demanda donde la producción de la instalación pueda ser insuficiente. Además, contará con un sistema de antivertido para evitar que se genere más energía de la que se consume en ese momento. Por tanto, los elementos con los que deberá contar la instalación son: paneles solares, inversor, protecciones y cableado.

El centro comercial estudiado será el Centro Comercial Colombia, situado en el barrio de Hortaleza, Madrid.

## 2. METODOLOGÍA

En primer lugar, es necesario realizar un estudio del consumo energético del centro comercial, que ha sido posible gracias al análisis de las facturas eléctricas del edificio durante 2021. La demanda total está dividida en dos facturas distintas, que producen los siguientes resultados:



*Consumo eléctrico mensual del centro comercial*

El consumo total para todo el año es de 395.580 kWh lo que implica que, para lograr el objetivo del 75%, se deberán de producir con la instalación al menos 296.685 kWh.

Una vez conocido el objetivo de producción hay que analizar el espacio del que se dispone para la instalación de los paneles solares. La superficie en planta de la cubierta del edificio es de alrededor de 4140 m<sup>2</sup>, sin embargo, tiene partes inclinadas y partes horizontales. Debido a las limitaciones de espacio y a los altos niveles de generación a los que se pretende llegar, se decide dividir la cubierta en varias zonas en las que se colocarán los distintos subsistemas que conformarán la instalación total. Las 6 zonas en las que se ha dividido la cubierta son las siguientes:



*Zonas de división de la cubierta del edificio*

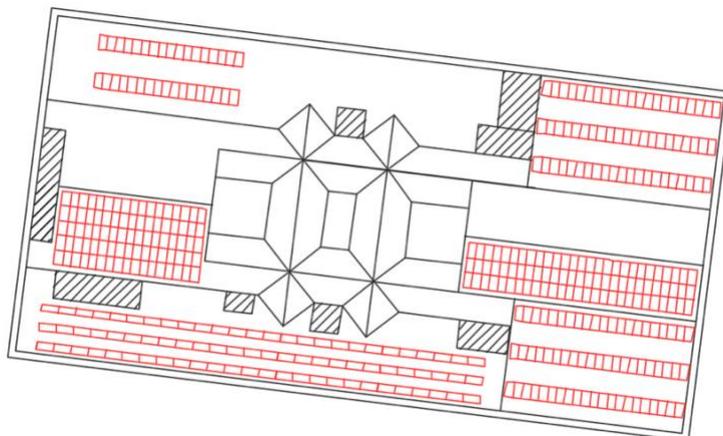
El diseño de la instalación se ha realizado utilizando una plantilla Excel que modela la producción de energía eléctrica de un sistema en función del número y disposición de los paneles, así como del modelo empleado. Para ello cuenta con una base de datos con información relativa a una gran variedad de modelos de paneles solares e inversores y los datos de radiación solar en las diferentes provincias de España. En función de parámetros como el número de paneles, el modelo a utilizar y la distribución la plantilla calcula, entre otras cosas, la producción anual de energía que se conseguiría.

### 3. RESULTADOS

Tras una serie de pruebas, se ha llegado al siguiente diseño de instalación:

- 2 grupos de 3 ramas en paralelo de 21 módulos (zonas 1 y 2)
- 1 grupo de 5 ramas en paralelo de 17 módulos (zona 3)
- 1 grupo de 3 ramas en paralelo de 26 módulos (zona 4)
- 1 grupo de 3 ramas en paralelo de 27 módulos (zona 5)
- 1 grupo de 2 ramas en paralelo de 17 módulos (zona 6)

Todo ello hace un total de 404 módulos que producirán 297.106 kWh, que es más del objetivo marcado. El diseño de la instalación en la cubierta es el siguiente:



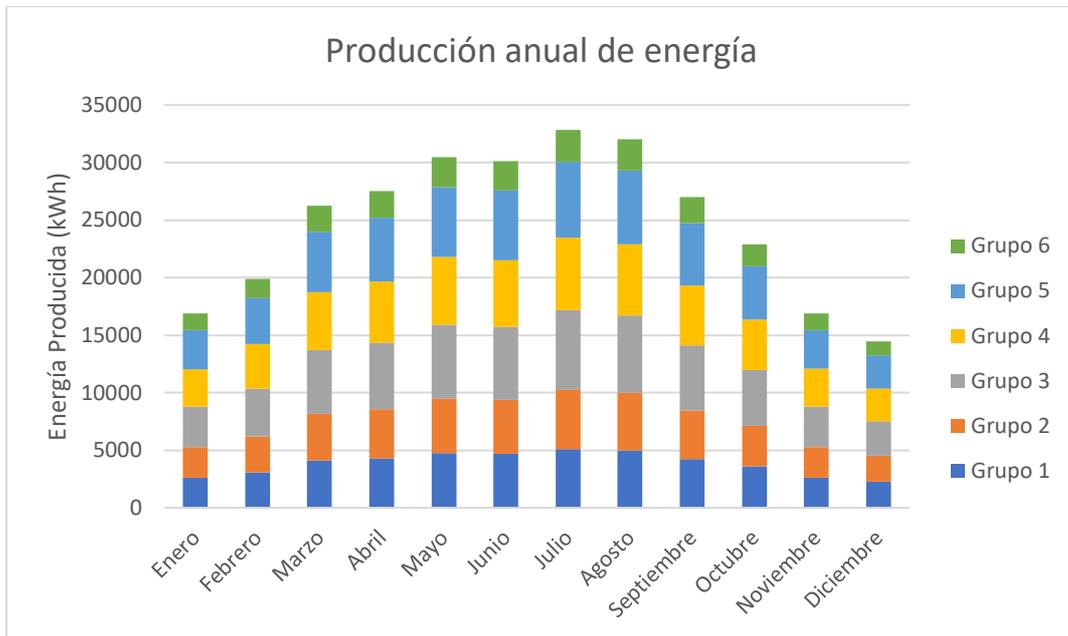
*Esquema de la disposición de los módulos*

Los modelos de los distintos elementos de la instalación son los siguientes:

- Módulos: Se utilizarán los módulos *SR-72M550HLPro* de la marca *Sunrise*. Tienen una potencia nominal de 540 Wp lo que implica que la potencia de la instalación será de 218.160 Wp.
- Inversor: Se utilizará el modelo *Sun2000-215KTL-H0* de la marca *Huawei*. Tiene una potencia de 200 kW lo que implica que la instalación cuenta con cerca de un 10% más de potencia, adecuado para este tipo de instalaciones.

Se ha comprobado que en ningún caso se superan los límites de corriente y tensión admisibles tanto en los módulos como el inversor.

La producción total a lo largo de un año conseguida por cada uno de los grupos es la siguiente:



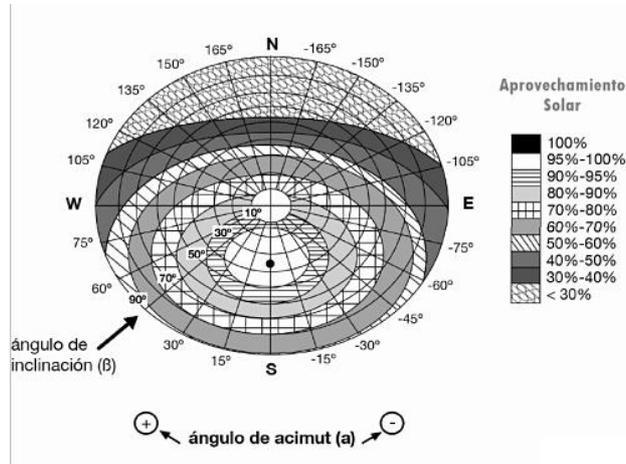
*Generación anual de energía por la instalación fotovoltaica*

La instalación deberá contar también con cables de 6 mm<sup>2</sup> de sección para la parte de corriente continua y de 95 mm<sup>2</sup> de sección para la parte de corriente alterna. Además, serán necesarias protecciones contra contactos directos e indirectos, cortocircuitos, derivaciones, sobretensiones y subtensiones, sobrefrecuencias y subfrecuencias.

Dado que se ha decidido instalar los paneles en zonas con distinta inclinación y en disposiciones diferentes, serán necesarios varios tipos de estructuras soporte. Para los módulos colocados verticalmente sobre la superficie horizontal (zonas 1, 2 y 6) será necesario comprar 38 soportes con inclinación de 30° (30 con capacidad para cuatro módulos y 8 con capacidad para cinco módulos). Los paneles en la zona 4 también están sobre la cubierta plana, pero están dispuestos de manera horizontal, por lo que serán necesarios otros soportes con la misma inclinación de 30°. Concretamente habrá que instalar 27 soportes (24 con capacidad para tres módulos y 3 con capacidad para dos módulos). Por último, en las zonas 3 y 5, los paneles se instalan sobre el tejado que ya está inclinado 30°, por lo que se necesitan soportes coplanares. Para la instalación se necesitarán en total 41 soportes de este modelo (5 con capacidad para cinco módulos, 33 con capacidad para cuatro módulos y 3 con capacidad para tres módulos). Todos los soportes son de la marca *Sunfields* y los modelos son el *09V*, *09H* y *01V* respectivamente.

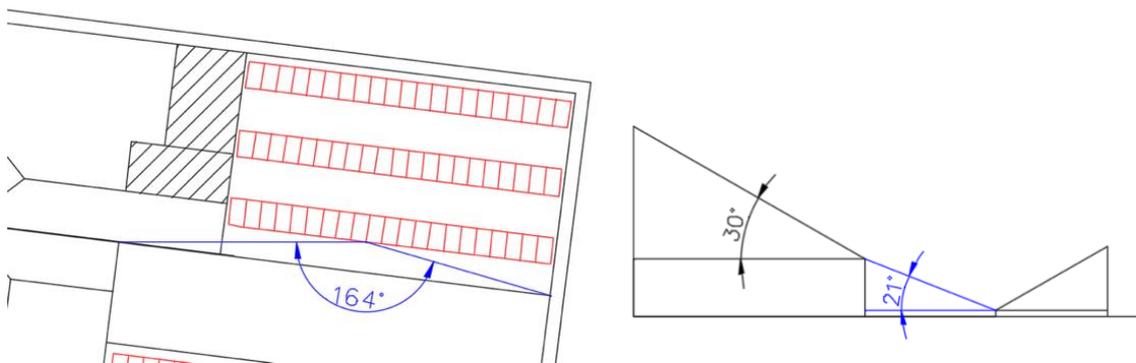
Una vez diseñada la instalación hay que calcular las pérdidas que se producen por orientación e inclinación así como las pérdidas por sombras que, según lo que marca el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) no deben ser superiores al 10% cada una de ellas.

Sabiendo que los paneles siguen la orientación del edificio ( $7^\circ$  azimut) se comprueba, utilizando el diagrama de aprovechamiento solar, que para tener pérdidas por orientación menores del 10% la inclinación de los paneles tiene que estar entre  $12,47^\circ$  y  $59,47^\circ$ , lo cual se cumple en la instalación diseñada.



*Diagrama de aprovechamiento solar*

Para el cálculo de las pérdidas por sombras se han esquematizado los obstáculos en la trayectoria de la radiación solar para aquellas zonas en las que se producirán sombras (zonas 2 y 6) para conocer los ángulos de orientación y elevación de los mismos.



*Esquemas de los ángulos de orientación y elevación de los obstáculos (zona 2)*

Una vez conocidos estos parámetros se ha podido dibujar el perfil de sombras sobre el diagrama de trayectorias del Sol y determinar que las pérdidas en ambos subsistemas están en torno al 4,04%. Por tanto, las pérdidas totales en el sistema están por debajo del límite marcado.

Además, el IDAE también establece un mínimo de separación entre los módulos en función de su tamaño y disposición. Para la instalación diseñada se ha obtenido que la separación entre módulos debe de ser de 3,13 m para paneles verticales y 1,56 m para los horizontales. Estas distancias han sido respetadas durante el diseño por lo que se ha garantizado espacio suficiente en la cubierta para toda la instalación.

#### 4. CONCLUSIONES

La inversión inicial para el desarrollo de este proyecto se ha estimado en 196.778,21€. Sin embargo, gracias al sistema fotovoltaico se producirá un ahorro en el consumo eléctrico, lo que implicará una reducción económica en la factura mensual. Sabiendo que la instalación produce 297.106,52 kWh por año se puede estimar el ahorro anual en 41.594,91€ (para un precio estimado de la energía de 0,14€/kWh). Para conocer la rentabilidad del proyecto se ha calculado el VAN, el TIR y el periodo de recuperación, obteniendo los siguientes resultados:

$$VAN = 2.734.688,33 \text{ €}$$

$$TIR = 14,8 \%$$

$$\textit{Periodo de recuperación} = 7 \text{ años}$$

Para calcularlos se ha estimado la vida útil de los paneles en 25 años y para una tasa de descuento del 3,5%.

Por tanto, se puede concluir que el desarrollo del proyecto sale muy rentable. En tan solo 7 años ya se habrá recuperado más de la inversión inicial, disponiendo entonces de 18 años de beneficios íntegros.

Aparte de lo económico, el principal objetivo de este proyecto era la reducción en la emisión de gases contaminantes gracias a la instalación fotovoltaica. Tomando como dato el factor de emisión promedio anual del sistema español en 2021 (0,14 toneladas/MWh) se puede calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> que se ha evitado emitir a la atmósfera por año:

$$\textit{Emisiones de CO}_2 = 297.107 \text{ kWh} \cdot 0,14 \frac{\text{t CO}_2}{\text{MWh}} \cdot \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ kWh}} = 41,595 \text{ t CO}_2$$

Si además se quiere tener en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen durante el proceso de fabricación de los paneles para conocer por completo el impacto medioambiental de la instalación, el resultado es el siguiente.

Suponiendo que en el proceso de fabricación de cada panel se emiten 498 kg de CO<sub>2</sub>, la emisión total de la instalación sería de 201,19 toneladas. Teniendo en cuenta que la vida útil de los paneles es de 25 años se puede promediar la emisión en 8,047 toneladas por año. Por tanto, las emisiones netas de CO<sub>2</sub> que se evitan por año se pueden estimar en:

$$\textit{Emisiones de CO}_2 = 41,595 - 8,047 = 33,548 \text{ t CO}_2$$

Por tanto, a través de este trabajo se ha podido comprobar la viabilidad de una instalación fotovoltaica, incluso para edificios con grandes niveles de consumo. Fomentar e impulsar este tipo de tecnología entre la población puede tener un gran impacto positivo sobre el medioambiente, sobre todo en ciudades con una alta densidad de población. En principio puede parecer un gran desembolso económico pero en el medio plazo se ha comprobado su rentabilidad. Su sencillez y el ahorro, tanto económico como de emisiones, van a hacer que la energía solar fotovoltaica tenga un papel fundamental en la producción de energía en un futuro que estará marcado, sin ninguna duda, por las renovables.

## 5. REFERENCIAS

- Planas, O. (2022, 12 marzo). *Partes y elementos de una instalación solar fotovoltaica*. Energía Solar. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos>
- Lorenzo, J. A. A. (2022, 24 enero). *Placas Solares Fотовoltaicas - La Guía 2022*. SunFields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/autoconsumo/placas-solares-fotovoltaicas/>
- Rodríguez, E. (2009). *Calcular la Sección Cables Para Instalación Solar Fотовoltaica*. Areatecnología. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/cables-fotovoltaica.html>
- Ceen, C. (2015, 8 enero). *Pérdidas por Inclinación y Orientación*. Eficiencia Energética. <https://certificacionenergetica.info/perdidas-por-inclinacion-y-orientacion/>
- REE. (2022). *REData - No renovables detalle emisiones CO2*. Red Eléctrica. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>



# ENERGY EFFICIENCY IN A SHOPPING CENTRE AND SAVINGS WITH RENEWABLE ENERGIES

**Author: Bravo Priegue, Nicolás.**

Supervisor: Mata García, Luis Javier.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## ABSTRACT

### 1. INTRODUCTION

The commitment to the environment is one of the basic requirements when developing any project in the present day. After hundreds of years abusing the limited resources of the planet we have reached a point where a change in the energy production paradigm is needed, leading us to a production model based on responsibility and sustainability. The overuse of limited resources like fossil fuels in the energy production has caused worrying levels of contamination in the environment which many of its consequences can already be noticed. That is why it is important to take action before it is too late. The solutions for this issue must involve the use of renewable energy sources as well as reduction in consumption or, in other words, what is known as energy efficiency. This term refers to an optimisation of energy consumption, making a better use of it in order to reduce the emission of greenhouse gases at the same time it promotes de use of clean energy production systems based on renewable resources.

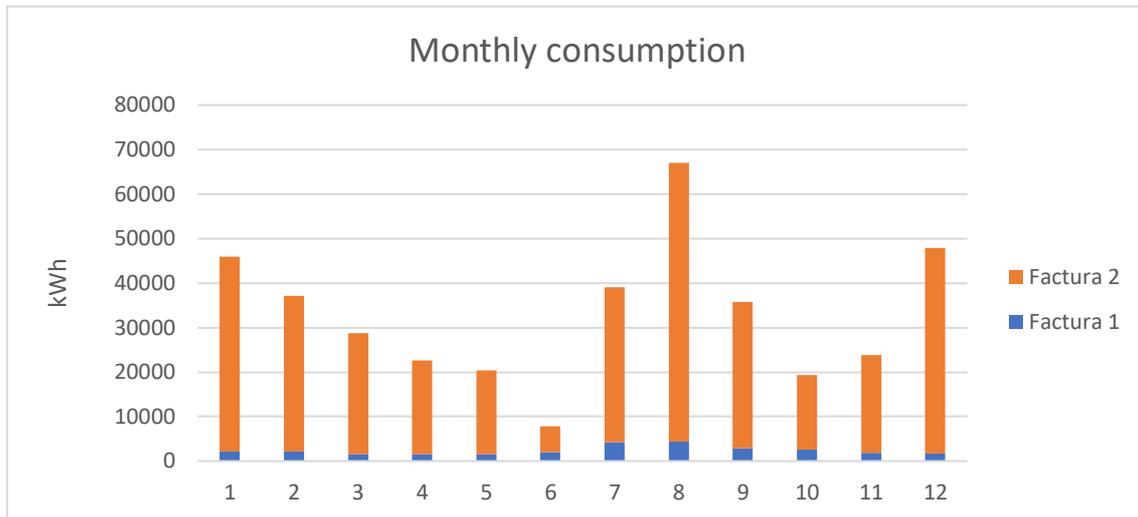
Due to its high activity and the huge amount of space they take up, shopping centers are one of the places with more energy consumption in a city. That is why this project is aimed at reaching a better energy efficiency by the use of renewable energy resources, specifically photovoltaic solar power, which can lead to a decrease of the emission of polluting gases. In order to prove the viability and profitability of this type of systems an objective of producing at least 75% of the demand of the shopping center has been set.

The photovoltaic system will be designed so that the shopping center can use the energy produced in the solar panels whenever it is possible and it will be connected to the grid to receive energy in case there is a high demand of energy that cannot be supplied by the photovoltaic system. In addition, it will have an “anti -spill” system that will prevent the system from producing more energy than what is needed at the moment. Therefore, the components that will be needed are: solar panels, power inverter, electrical protections and wiring.

The shopping center that will be studied during this project is called Centro Comercial Colombia, and it is located in the district of Hortaleza, Madrid.

## 2. METHODOLOGY

Firstly, it is needed to do a study on the energy consumption of the shopping centre, which has been possible thanks to an analysis made on the electrical bills of the building all over 2021. The overall demand is divided into two different bills, which produce the following results:



*Electrical consumption of the shopping centre*

The total consumption during the year was 395.580 kWh which implies that, in order to reach the objective of 75%, the system must generate at least 296.685 kWh.

Once the production goal is known it is needed to analyze the available surface for the installation of the solar panels. The ground area of the building is around 4140 m<sup>2</sup>, however, the roof has some leaning zones and some other horizontal zones. Due to space limits and the high levels of production that want to be reached, the surface of the roof has been divided into several zones where the different subsystems will be installed in order to form the total system. The 6 zones into which the surface has been divided are the following ones:



*Division zones of the roof of the building*

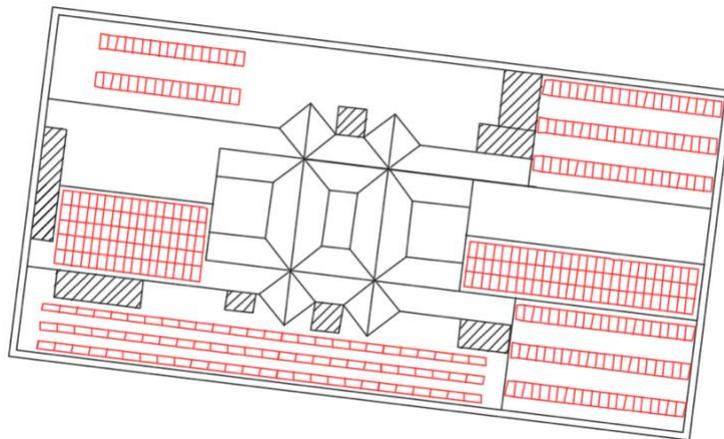
The design of the photovoltaic system has been made using an Excel template which models the electrical energy production of a system based on the number and the layout of the panels as well as the model used. To do so, the template has a data base with information related to a huge variety of solar panel and power inverter models and the solar radiation data for the different provinces of Spain. Depending on parameters like the number of panels, the model used and their distribution, the template calculates, among other things, the total energy production per year.

### 3. RESULTS

After some attempts, the following design has been made:

- 2 groups of 3 parallel strings of 21 panels each (zones 1 and 2)
- 1 group of 5 parallel strings of 17 panels each (zone 3)
- 1 group of 3 parallel strings of 26 panels each (zone 4)
- 1 group of 3 parallel strings of 27 panels each (zone 5)
- 1 group of 2 parallel strings of 17 panels each (zone 6)

That makes a total of 404 panels that will produce 297.106 kWh, which is more than the target set. The design of the photovoltaic system in the roof of the building is the following:



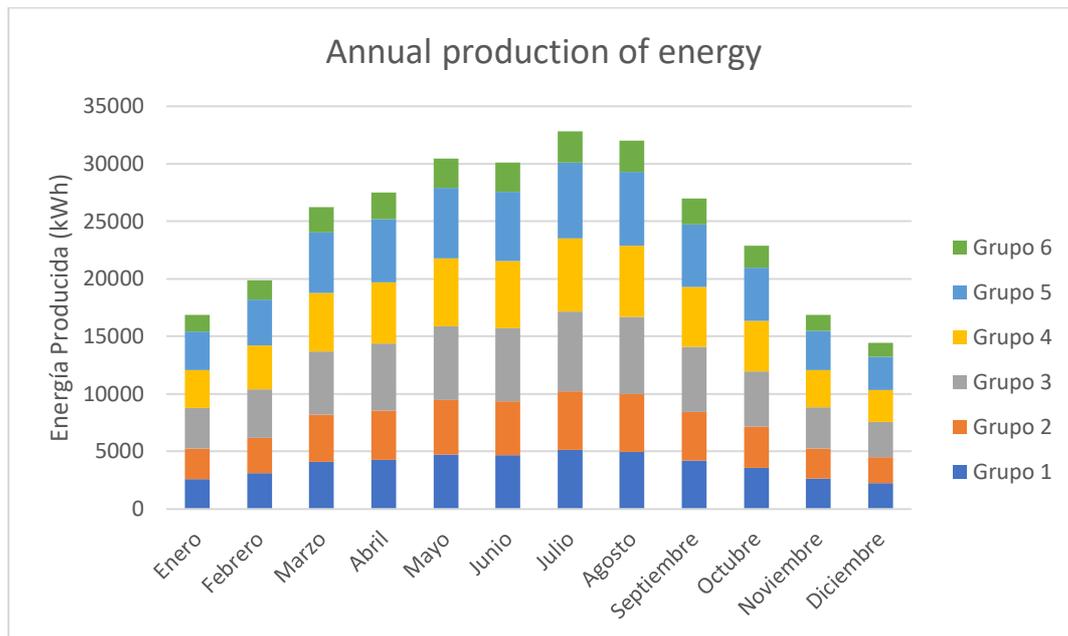
*Graphical representation of the layout of the panels*

The models used for the different components of the system are:

- Solar panels: The solar panels used will be the *SR-72M550HLPro* from *Sunrise*. They have a rated power of 540 Wp which implies that the total power of the photovoltaic system will be 218.160 Wp.
- Power inverter: The power inverter used will be the *Sun2000-215KTL-H0* from *Huawei*. It has a rated power of 200 kW, so the total system has around 10% more power than the inverter, which is appropriate for these type of systems.

It has been verified that under no circumstances the limits of current and voltage of any of the components of the system are being surpassed.

The total energy production during a years reached by each group is the following one:



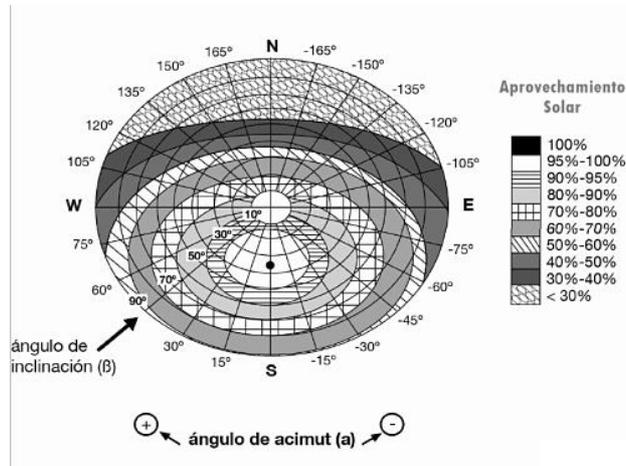
*Annual production of energy by the photovoltaic system*

The photovoltaic system must use wires of 6 mm<sup>2</sup> of section for the part that uses direct current and wires of 95 mm<sup>2</sup> of section for the part that uses alternating current. In addition, it will be needed electrical protections against direct and indirect contacts, short circuits, electrical shunts, overvoltages and undervoltages, overfrequencies and subfrequencies.

The fact that it has been decided to install solar panels in zones with different inclinations and with different layouts implies that different support structures will be needed. For the panels installed vertically over the horizontal surface (zones 1, 2 and 6) we will have to use 38 supports at an angle of 30° (30 with capacity for four panels and 8 with capacity for five panels). Solar panels installed in zone 4 are also over a horizontal surface, but they are arranged in the horizontal way, so there will be needed another type of supports with the same inclination of 30°. Specifically, we will have to install 27 supports (24 with capacity for three panels and 3 with capacity for two panels). Lastly, in zones 3 and 5 the panels will be installed over the roof which is already leaning 30°, so there will be needed coplanar supports. In particular, the system will need 41 supports of this type (5 with capacity for five panels, 33 with capacity for four panels and 3 with capacity for three panels). All the structural supports used for the installation are from *Sunfields* and the models are the *09V*, *09H* and *01V* respectively.

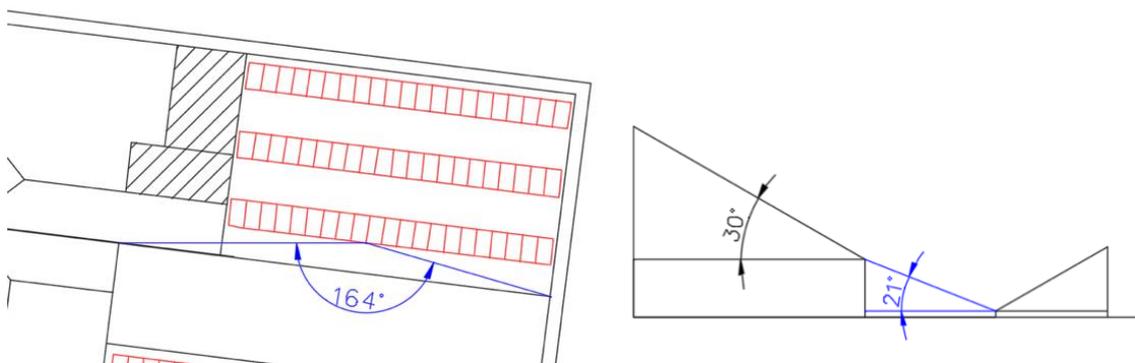
Once the photovoltaic system has been designed we must calculate the energy losses due to orientation and inclination as well as the losses due to the shadows of the obstacles in the way of the solar radiation. According to the Institute for the Diversification and Saving of Energy (IDAE) each of these losses cannot exceed the 10%.

Taking into account that the solar panels follow the building's orientation ( $7^\circ$  azimuth), it has been proved, using the harnessing solar energy diagram, that in order to have less than 10% of energy losses due to inclination the panels must have a leaning angle between  $12,47^\circ$  and  $59,47^\circ$ , which is accomplished by the system designed.



*Harnessing solar energy diagram*

With a view to calculate the losses due to shadows, a sketch of the obstacles has been made for the parts of the system which are affected by shadows (zones 2 and 6) in order to know the orientation and elevation angles of them.



*Sketch of the orientation and elevation angles of the obstacles (zone 2)*

Once this parameters are known we have been able to draw the outline of the shadows in the diagram of solar trajectories and prove that the losses in both subsystems are around 4,04%, which is less than limited mentioned before.

Moreover, the IDEA also establishes the minimum distance between solar panels depending on their size and organization. For the photovoltaic system designed the distance calculated is of 3,13 m between vertical panels and 1,56 m between horizontal panels. These distances have been respected during the design so it is guaranteed that there is enough space in the roof of the building for all the photovoltaic system.

#### 4. CONCLUSIONS

The initial investment for the development of this project is estimated in 196.778,21€. However, thanks to the photovoltaic system the shopping centre will save an important amount of energy which will lead to an economic reduction in the electricity bill. Knowing that the system produces 297.106,52 kWh per year it can be estimated 41.594,91€ of annual savings (for an estimated energy price of 0,14 €/kWh). In order to know the profitability of the project we have calculated the NPV, the IRR and the recovery period, obtaining the following results:

$$NPV = 2.734.688,33 \text{ €}$$

$$IRR = 14,8 \%$$

$$\text{Recovery period} = 7 \text{ years}$$

To calculate them it has been assumed a lifetime of 25 years for the solar panels and a discount rate of 3,5%.

Therefore, it can be concluded that the development of the project is really profitable. In just 7 years the initial investment will be paid back, leaving 18 years of pure benefits.

Apart from the economic reasons, the main objective of this project was the reduction in the emission of polluting gases thanks to the photovoltaic system. Using as an emission factor the mean of the Spanish energy system pollution in 2021 (0,14 tons/MWh), the amount of CO<sub>2</sub> that has been avoided to emit to the atmosphere per year is:

$$CO_2 \text{ Emissions} = 297.107 \text{ kWh} \cdot 0,14 \frac{t \text{ CO}_2}{\text{MWh}} \cdot \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ kWh}} = 41,595 \text{ t CO}_2$$

If we also take into account the CO<sub>2</sub> emissions produced during the process of making the solar panels in order to know the complete environmental impact of the photovoltaic system, the result is the following.

Assuming that in the process of making each solar panel 498kg of CO<sub>2</sub> are emitted, the total emission of the photovoltaic system would be around 201,19 tons. Taking into account the lifetime of 25 years we can average the emission in 8,047 tons per year. Therefore, the CO<sub>2</sub> net emissions avoided per year can be estimated in:

$$CO_2 \text{ Emissions} = 41,595 - 8,047 = 33,548 \text{ t CO}_2$$

In conclusion, through this project it has been proved the viability of a photovoltaic system, even in buildings with high levels of energy consumption. Encouraging and promoting this type of technology among the population could have a great impact on the environment, especially in cities with a high population density. At first it can be seen as a huge outlay, but in the medium term it has been proved its profitability. Its simplicity as well as the economic and energetic savings will make the solar photovoltaic energy have a key role in the production of energy in the future, which will be marked by the use of renewable energy.

## 5. REFERENCES

- Planas, O. (2022, 12 marzo). *Partes y elementos de una instalación solar fotovoltaica*. Energía Solar. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos>
- Lorenzo, J. A. A. (2022, 24 enero). *Placas Solares Fotovoltaiicas - La Guía 2022*. SunFields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/autoconsumo/placas-solares-fotovoltaiicas/>
- Rodríguez, E. (2009). *Calcular la Seccion Cables Para Instalación Solar Fotovoltaiica*. Areatecnología. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/cables-fotovoltaiica.html>
- Ceen, C. (2015, 8 enero). *Pérdidas por Inclinación y Orientación*. Eficiencia Energética. <https://certificacionenergetica.info/perdidas-por-inclinacion-y-orientacion/>
- REE. (2022). *REData - No renovables detalle emisiones CO2*. Red Eléctrica. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>



# Índice

Documento 1. Memoria .....	7
<i>1.1 MEMORIA DESCRIPTIVA .....</i>	<i>7</i>
1.1.1 Introducción .....	7
1.1.2 Objetivos del proyecto .....	8
1.1.3 Alternativas existentes y solución adoptada .....	8
1.1.4 Energía solar fotovoltaica .....	9
1.1.4.1 Funcionamiento .....	9
1.1.4.2 Tipos de instalaciones .....	9
1.1.4.3 Elementos del sistema .....	10
1.1.5 Datos meteorológicos .....	11
<i>1.2 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA .....</i>	<i>12</i>
1.2.1 Emplazamiento .....	12
1.2.2 Consumo eléctrico .....	13
1.2.3 Irradiación solar en el emplazamiento .....	14
1.2.4 Propuesta de diseño .....	15
1.2.5 Componentes utilizados .....	17
1.2.5.1 Módulos .....	17
1.2.5.2 Inversor .....	18
1.2.5.3 Cableado .....	19
1.2.5.4 Protecciones y puesta a tierra .....	22
1.2.5.5 Estructura soporte .....	23
1.2.6 Cálculo de pérdidas .....	24
1.2.6.1 Pérdidas por orientación e inclinación .....	24
1.2.6.2 Pérdidas por sombras .....	26
1.2.7 Disposición de módulos .....	31
<i>1.3 ESTUDIO ECONÓMICO .....</i>	<i>33</i>
1.3.1 Presupuesto .....	33
1.3.2 Ahorro económico .....	34
1.3.3 Rentabilidad .....	34

<i>1.4 IMPACTO AMBIENTAL</i> .....	36
1.4.1 Reducción de emisiones gracias a la instalación .....	36
1.4.2 Impacto medioambiental de la instalación .....	37
<i>1.5 BIBLIOGRAFÍA</i> .....	38
<i>1.6 ANEXOS</i> .....	39
1.6.1 ANEXO I: Modelo Económico de la Instalación Fotovoltaica .....	39
1.6.2 ANEXO II: Plantilla Excel que modela la producción de la instalación.....	40
1.6.3 ANEXO III: Alineamiento con los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	41
Documento 2. Planos .....	43
<i>2.1 LISTADO DE PLANOS</i> .....	43
<i>2.2 PLANOS</i> .....	43
Documento 3. Pliego de condiciones .....	48
<i>3.1 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y PARTICULARES</i> .....	48
Documento 4. Presupuesto .....	56
<i>4.1 PRESUPUESTO GENERAL</i> .....	56

# Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Esquema de instalación fotovoltaica de autoconsumo sin excedentes .....	10
<b>Figura 2:</b> Imagen de la herramienta del PVGIS .....	11
<b>Figura 3:</b> Ubicación del emplazamiento.....	12
<b>Figura 4:</b> Imagen de la cubierta del edificio.....	12
<b>Figura 5:</b> Ilustración de una cubierta a dos aguas (Fuente: Venado Revit).....	13
<b>Figura 6:</b> Consumo eléctrico mensual del edificio.....	13
<b>Figura 7:</b> Consumo eléctrico mensual del edificio dividido por facturas .....	14
<b>Figura 8:</b> Irradiación solar mensual en el emplazamiento.....	14
<b>Figura 9:</b> Zonas de división de la cubierta del edificio .....	15
<b>Figura 10:</b> Esquema de la disposición de los módulos.....	16
<b>Figura 11:</b> Generación anual de energía por la instalación fotovoltaica .....	17
<b>Figura 12:</b> Módulo Solar SR-72M550HLPro e inversor Sun2000-215KTL-H0 .....	18
<b>Figura 13:</b> Soporte 09V SunFields .....	23
<b>Figura 14:</b> Soporte 09H SunFields .....	23
<b>Figura 15:</b> Soporte 01V SunFields .....	24
<b>Figura 16:</b> Esquema representativo de los ángulos de inclinación y azimut.....	25
<b>Figura 17:</b> Diagrama de energía útil respecto al máximo en función .....	25
de la inclinación y orientación.....	25
<b>Figura 18:</b> Diagrama de trayectorias del Sol.....	26
<b>Figura 19:</b> Esquema del ángulo de orientación de los obstáculos en la zona 2.....	28
<b>Figura 20:</b> Esquema del ángulo de elevación de los obstáculos en la zona 2 .....	28
<b>Figura 21:</b> Perfil de obstáculos de la zona 2 sobre el diagrama de trayectorias del sol	29
<b>Figura 22:</b> Esquema del ángulo de orientación de los obstáculos en la zona 6.....	29
<b>Figura 23:</b> Esquema del ángulo de elevación de los obstáculos en la zona 6 .....	30

<b>Figura 24:</b> Perfil de obstáculos de la zona 6 sobre el diagrama de trayectorias del sol	30
<b>Figura 25:</b> Esquema de las distancias para la disposición de los módulos .....	31
<b>Figura 26:</b> Emisiones y factor de emisión de CO <sub>2</sub> en España entre 2017 y 2021 .....	36
<b>Figura 27:</b> Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	41

# Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Producción anual de la instalación por grupos.....	16
<b>Tabla 2:</b> Propiedades físicas del panel elegido.....	17
<b>Tabla 3:</b> Propiedades eléctricas del panel elegido.....	17
<b>Tabla 4:</b> Propiedades eléctricas del inversor elegido.....	18
<b>Tabla 5:</b> Intensidades admisibles para cada sección de cable de cobre.....	19
<b>Tabla 6:</b> Límite de pérdidas por el IDEA en instalaciones fotovoltaicas.....	24
<b>Tabla 7:</b> Tabla de referencia para pérdidas por sombra ( $\beta = 35, \alpha = 0$ ).....	27
<b>Tabla 8:</b> Valores del factor k en función de la latitud para la disposición de módulos.....	31
<b>Tabla 9:</b> Presupuesto de la instalación fotovoltaica diseñada.....	33
<b>Tabla 10:</b> Ahorro económico anual en energía con la instalación fotovoltaica.....	34



# Documento 1. Memoria

## 1.1 MEMORIA DESCRIPTIVA

### 1.1.1 Introducción

El consumo energético mundial no para de aumentar. Los valores de demanda anual crecen cada año impulsados, entre otras razones, por el aumento de la población mundial. La gran mayoría de la energía producida proviene de fuentes no renovables (combustibles fósiles y energía nuclear) lo que significa que, siguiendo esta tendencia, llegará un punto en el que se agoten los recursos de donde se obtiene, lo que dificultará enormemente el abastecimiento de toda la demanda energética mundial. Por otro lado, la producción de energía a partir de los combustibles fósiles es una de las principales causas de emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera. Todo esto es una muestra de las numerosas y graves consecuencias, tanto medioambientales como económicas, que tiene el consumo excesivo de energía que hacen que el modelo de consumo y generación actual sea insostenible de cara al futuro.

Las soluciones para hacer frente a estos problemas pasan por una reducción del consumo de energía y una búsqueda de sistemas de producción de la misma que utilicen fuentes renovables y que no sean perjudiciales para el medio ambiente. En definitiva, se busca lo que se conoce como una mayor eficiencia energética. Este término hace referencia a una optimización del consumo de energía, haciendo una mejor gestión de esta para reducir al máximo posible el gasto (garantizando unos niveles de servicios) a la vez que se busca y promueve el uso de fuentes de energía limpias y económicas.

La eficiencia energética es algo que le conviene buscar a todo el mundo: industrias, empresas, hogares de particulares, edificios públicos... No solamente por las ventajas que supone para el medioambiente, sino también por el ahorro económico que supone y a la disminución en la dependencia del mercado exterior. Por tanto, no queda duda de que optimizar el consumo de energía debe de ser uno de los principales objetivos de la actualidad.

Dentro de un territorio, uno de los sitios donde más energía se consume es en los centros comerciales. Estos edificios reciben multitud de clientes a diario y consumen mucha electricidad durante largos periodos de tiempo. La mayor parte de la energía que se demandada va destinada a la iluminación y climatización de estos centros que, al ser tan grandes y estar abiertos tanto tiempo, hacen que los datos de consumo por cada centro comercial sean bastante elevados. Además, las grandes ciudades cuentan con un alto número de centros comerciales, lo que hace que sea más importante todavía el buscar una solución para optimizar el consumo energético en estos establecimientos.

La solución a este problema puede tener un gran efecto en el consumo de energía a nivel global. Es por ello que, a través de este trabajo, se va a estudiar el consumo energético de un centro comercial y se analizarán distintas posibilidades para su optimización con el objetivo de conseguir una mayor eficiencia energética mientras se garantizan unos determinados niveles de servicio. Dentro de las posibilidades de ahorro energético, se analizará y valorará el uso de energías renovables, concretamente con la instalación de energía solar fotovoltaica.

### **1.1.2 Objetivos del proyecto**

Con el propósito de buscar una mayor eficiencia energética en un centro comercial concreto, en este proyecto se ha marcado el objetivo de intentar producir al menos el 75% de su consumo durante un año con la instalación de paneles fotovoltaicos.

Para su consecución será necesario:

- Realizar un análisis del consumo energético del centro comercial a través de sus facturas eléctricas durante un año.
- Diseñar una instalación solar fotovoltaica óptima, que consiga lograr el objetivo principal de producir el 75% del consumo anual, debiéndose elegir tanto el modelo de paneles solares (y demás componentes) como su número y disposición. Para ello habrá que tener en cuenta la superficie disponible de la cubierta, la radiación solar en la zona en la que se trabaja y la orientación en la que se dispondrá la instalación para conseguir producir la máxima energía posible.
- Analizar, en el aspecto económico, la posibilidad de ahorro y el plazo de rentabilidad de la instalación.

### **1.1.3 Alternativas existentes y solución adoptada**

Son muchas las soluciones que se están buscando para conseguir la eficiencia energética, pero cada caso es distinto. Dependiendo del tipo de instalación que sea y las particularidades que tenga, la manera de actuar para conseguir la optimización del consumo será distinta. En edificios como centros comerciales la cantidad de energía que se utiliza es mucho mayor que la que se utiliza en un domicilio y, además, las distintas posibilidades para su gestión son mayores.

Lo que se busca en cualquier caso es, en primer lugar, una reducción del consumo. Esto se consigue de muchas formas, como por ejemplo utilizando aparatos que consuman menos y hacer un uso más responsable de ellos o empleando buenos materiales de aislamiento térmico. Con todo esto se consigue una optimización del consumo, es decir, hacer una mejor gestión de la energía para aprovechar al máximo cada kilovatio.

La búsqueda de la eficiencia energética está fuertemente relacionada con el uso de fuentes de energía renovables. Además de ser fuentes inagotables, gracias a ellas se reduce la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Pueden suponer una inversión inicial, pero reducen la dependencia energética del exterior lo que es una gran ventaja respecto a los combustibles fósiles, que tienen que ser importados de otros países. Esto, sumado a la gran reducción de los costes de esta tecnología en los últimos años, convierten a las energías renovables en plenamente competitivas en el aspecto económico frente a las fuentes de energía tradicionales, cuya dinámica es completamente distinta al encontrarse en una notable subida de precio últimamente.

Para un centro comercial, lo más rentable es el uso de la energía solar fotovoltaica. Consiste en la transformación, mediante paneles fotovoltaicos, de la luz solar en energía eléctrica. Esta es una de las fuentes de energía con más potencial debido al abaratamiento en los costes de construcción y la mejora en los rendimientos de los paneles. Actualmente, un panel solar promedio puede proporcionar en torno a 300W de energía. España, por ejemplo, cuenta con una potencia eléctrica instalada de este tipo de unos 15000 MW, y cada vez son más los lugares en los que se instalan paneles fotovoltaicos: hogares, hoteles, colegios...

Dentro de sus numerosos beneficios, también hay que mencionar la sencillez de esta tecnología y su mantenimiento. Es modular, lo que implica que se pueden instalar desde pequeños paneles solares en tejados a grandes plantas fotovoltaicas. Todo esto lo convierte en un sistema especialmente adecuado para zonas aisladas o con mayor dificultad de acceso, favoreciendo al autoabastecimiento.

Por todo ello, la instalación de paneles fotovoltaicos es, en principio, una buena solución en la búsqueda de la eficiencia energética en un centro comercial y será estudiada a través de este trabajo.

## **1.1.4 Energía solar fotovoltaica**

### 1.1.4.1 Funcionamiento

La energía solar fotovoltaica transforma directamente la radiación solar en energía eléctrica mediante el uso de paneles solares. Su funcionamiento está basado en el efecto fotovoltaico, que consiste en la diferencia de potencial que se genera entre las caras de una célula fotoeléctrica de los paneles solares debido a la incidencia de la radiación solar sobre una de ellas, lo que genera una corriente eléctrica.

### 1.1.4.2 Tipos de instalaciones

Existen dos tipos de instalaciones fotovoltaicas: las que están conectadas a la red eléctrica y las que están aisladas.

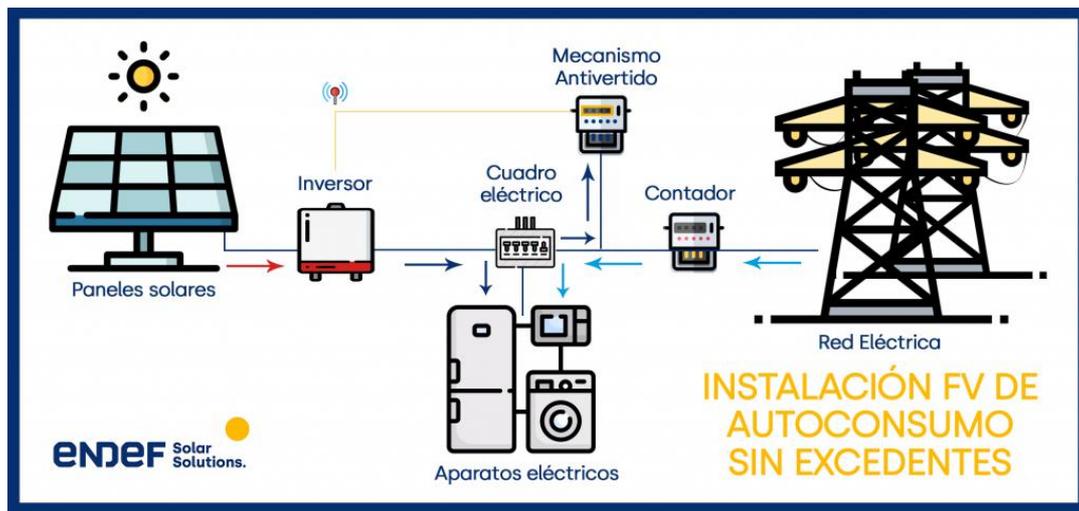
Las primeras, también llamadas de autoconsumo, están conectadas permanentemente a la red de manera que cuando necesitan más energía de la que producen en los paneles solares pueden obtenerla de la red eléctrica. Además, según lo que hagan con la energía excedente cuando la generación es mayor que el consumo se pueden dividir en distintos tipos. En primer lugar se puede verter el exceso de energía a la red y recibir una compensación económica a cambio. En segundo lugar, se puede almacenar la energía en baterías lo que permite consumirla en momentos en los que la producción con los paneles solares no es suficiente. Y, por último, se puede directamente evitar inyectar energía en la red mediante un mecanismo antivertido que evitará que se produzca más energía de la que se consume.

El segundo tipo de instalaciones, al estar completamente aisladas, no dependen de la red, lo que implica que la energía producida por los paneles solares debe de ser consumida en el mismo punto de la instalación. Generalmente son instalaciones de poca potencia y se encuentran en zonas rurales o de difícil acceso a la red.

Para el análisis tanto técnico como económico de este proyecto se considerará que la instalación fotoeléctrica a diseñar es de autoconsumo y sin vertido a la red. Sin embargo, una vez conseguidos los resultados, se valoraran las posibilidades de beneficio que se conseguirían si se vertiera el excedente a la red o se utilizaran baterías.

#### 1.1.4.3 Elementos del sistema

El esquema de la instalación fotovoltaica que se va a emplear es el siguiente:



*Figura 1: Esquema de instalación fotovoltaica de autoconsumo sin excedentes*

Nótese la presencia de del mecanismo antivertido característico de un sistema sin excedentes. Por lo demás, es el esquema básico de cualquier instalación fotovoltaica conectada a la red. Los componentes principales de un sistema de estas características son:

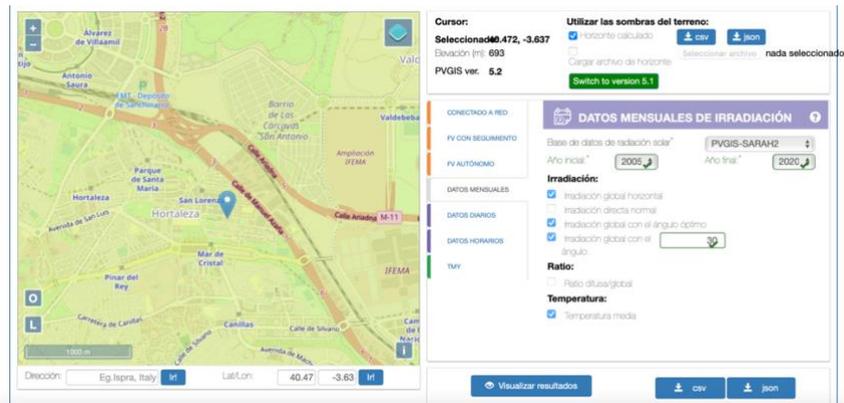
- Paneles solares: Transforman la energía procedente de la radiación solar en energía eléctrica. Están formadas por celdas fotovoltaicas conectadas entre sí en las que se produce el efecto fotoeléctrico, a través del cual se consigue electricidad en forma de corriente continua. En general están hechos de silicio y cada panel suministra alrededor de 300W de potencia.
- Inversor: Es el encargado de transformar la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna, que es la que se usa generalmente. Es un elemento fundamental ya que es el enlace entre el sistema fotovoltaico y la red.
- Protecciones: Son elementos necesarios para preservar la salud de las personas y la instalación

Además de estos, hay otros elementos secundarios que forman parte de una instalación fotovoltaica como el cableado, la estructura soporte de los paneles solares o el contador eléctrico para medir la energía consumida o generada por la instalación.

### 1.1.5 Datos meteorológicos

Para el diseño y la elaboración de un sistema de energía fotovoltaica hay que tener en cuenta una serie de parámetros y datos meteorológicos en la zona donde se realiza la instalación que harán variar el rendimiento de la misma.

En primer lugar, es fundamental conocer la irradiación solar que hay en la zona en la que se trabaja. Esta es la magnitud que mide la energía que llega a una superficie en forma de luz en un determinado periodo de tiempo, y de ella depende la cantidad de energía que se podrá generar con los paneles fotovoltaicos. Por ello, un mismo panel fotovoltaico generará mucha menos energía eléctrica si se coloca (en las mismas condiciones) en un lugar con poca radiación solar como Londres que si se coloca en un lugar con mucha radiación solar como, por ejemplo, Sevilla. Los valores de radiación solar se miden en kWh/m<sup>2</sup> y se pueden obtener del PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), una herramienta elaborada por la Unión Europea y que proporciona los datos de radiación solar diaria, mensual y anual para un lugar determinado. Además, también tiene en cuenta la inclinación de la superficie por lo que podremos calcular cual es la mejor inclinación de los paneles solares que se utilizaran para maximizar la radiación que incide sobre ellos.



*Figura 2: Imagen de la herramienta del PVGIS*

Además, otro parámetro medioambiental importante a tener en cuenta es la temperatura ambiental. El funcionamiento óptimo de los paneles solares se consigue entre 20 y 25 grados centígrados. Con temperaturas altas el rendimiento de los paneles fotovoltaicos disminuye, sin embargo, estas condiciones suelen coincidir con las épocas de más horas de luz al día por lo que el efecto negativo del calor es compensado con el aumento del tiempo de exposición a la radiación solar.

## 1.2 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

### 1.2.1. Emplazamiento

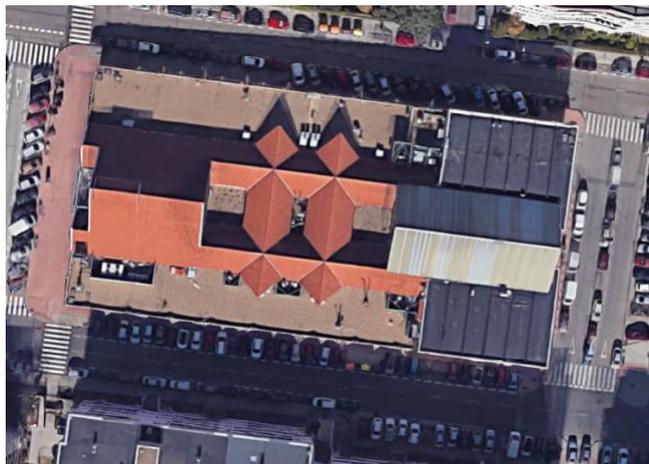
El edificio estudiado en este proyecto es el Centro Comercial Colombia, situado en la calle Avenida Bucaramanga, en el distrito de Hortaleza, Madrid. Para poder realizar el estudio de la instalación fotovoltaica hay que tener en cuenta los siguientes parámetros geográficos:

- Coordenadas: 40.47° N, 3.636° W
- Orientación fachada principal: Sudeste (7° Sur respecto al Este)



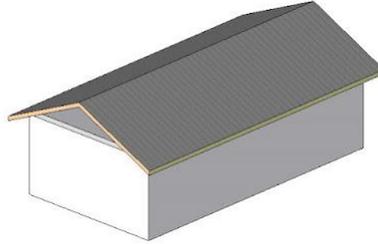
*Figura 3: Ubicación del emplazamiento*

El centro comercial ocupa una superficie total en planta de unos 4140 m<sup>2</sup> sin embargo, como se puede ver en la siguiente imagen, la cubierta no es plana.



*Figura 4: Imagen de la cubierta del edificio*

La cubierta se puede dividir en una zona plana y varias cubiertas a dos aguas (Figura 5): una primera de gran tamaño siguiendo la orientación del edificio, y cuatro más pequeñas dispuestas de manera perpendicular dos a dos. Utilizando la herramienta de medidas de *Google Earth* se ha podido determinar que los ángulos de inclinación respecto a la horizontal de las partes de la cubierta que no son planas son de 30°.

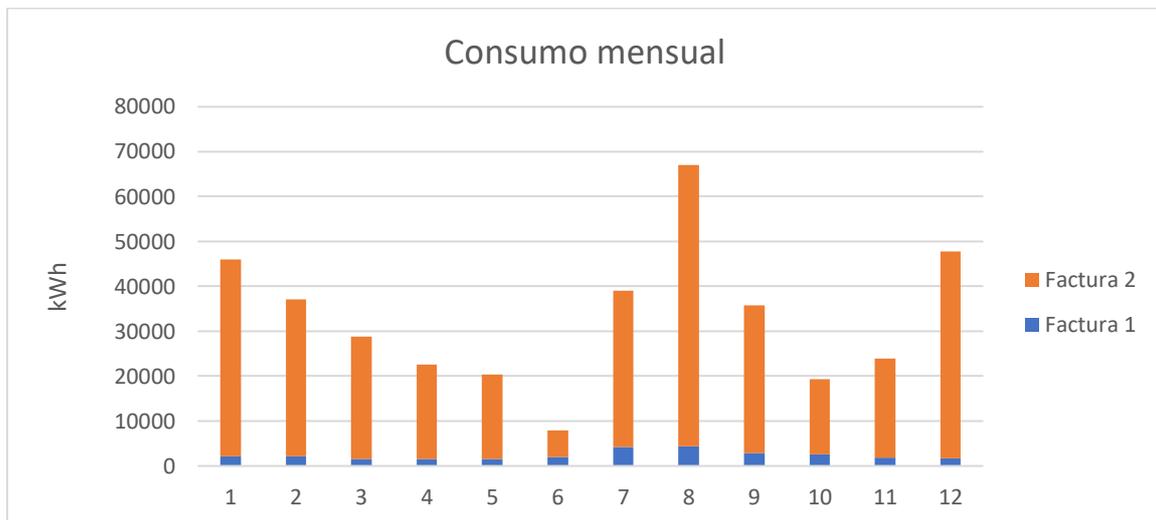


**Figura 5:** Ilustración de una cubierta a dos aguas (Fuente: Venado Revit)

### 1.2.2 Consumo eléctrico

El objetivo del proyecto es generar el 75% de la demanda eléctrica del centro comercial por lo que, para elaborar el diseño de la instalación fotovoltaica, es necesario analizar primero el consumo del edificio. Esto ha sido posible gracias a las facturas eléctricas del cliente en 2021. Esta factura está dividida en dos partes, cada una con un consumo distinto.

A continuación se presentan los datos del consumo eléctrico del centro comercial para el periodo mencionado anteriormente:



**Figura 6:** Consumo eléctrico mensual del edificio

Como se puede observar, una de las partes en las que está dividida la factura es mucho mayor que la otra. El consumo total a lo largo del año es de 395.580 kWh, lo que resulta en un consumo medio de 32.965 kWh por mes. Es apreciable el aumento de la demanda en los meses de verano e invierno, llegando a un pico de 67.032 kWh.

Si se quiere llegar al 75% del consumo eléctrico se tendrán que producir 296.685 kWh en total a lo largo de todo el año con la instalación fotovoltaica.

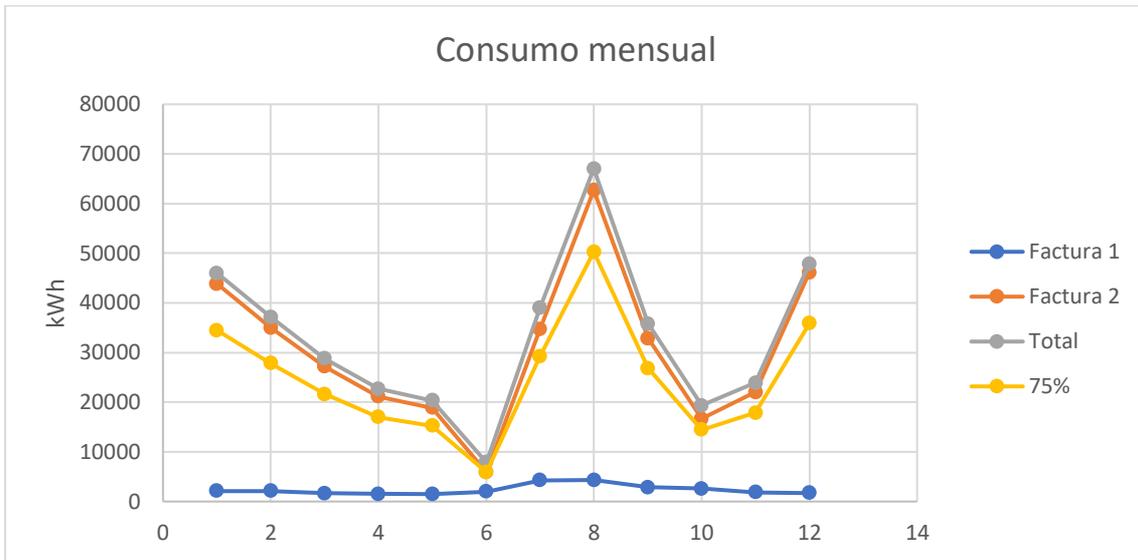


Figura 7: Consumo eléctrico mensual del edificio dividido por facturas

### 1.2.3 Irradiación solar en el emplazamiento

Los datos de irradiación solar obtenidos para la localización del centro comercial son los siguientes:

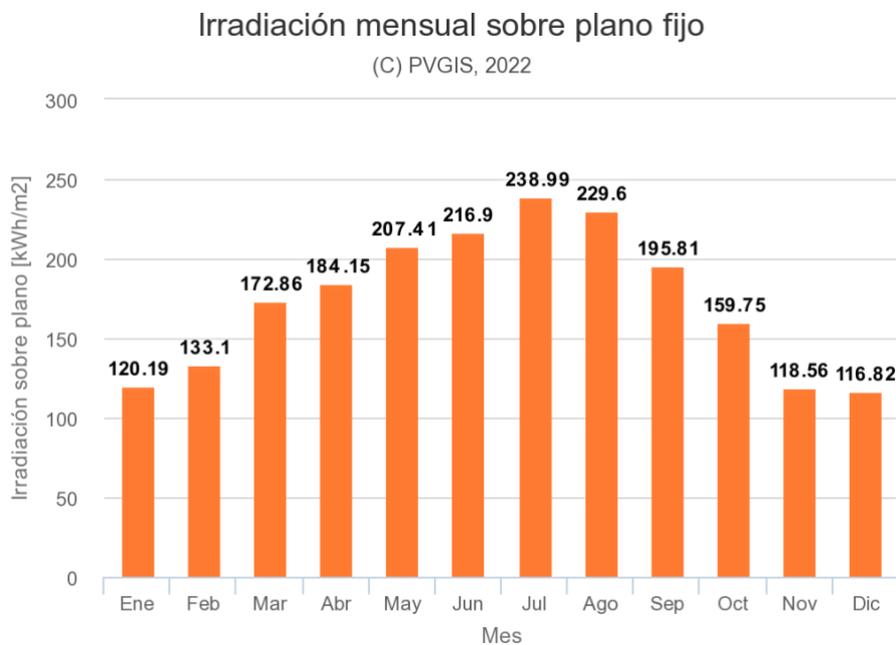


Figura 8: Irradiación solar mensual en el emplazamiento

La inclinación de la superficie respecto a la horizontal para la que se han obtenido estos datos ha sido de 30°, igual que el de la parte de la cubierta inclinada.

### 1.2.4 Propuesta de diseño

Para realizar el diseño de la instalación fotovoltaica de este proyecto se ha utilizado una plantilla Excel que modela la producción de energía eléctrica de un sistema en función del número y disposición de paneles solares y la localización del edificio. Para ello, cuenta con una base de datos con la información relativa a una amplia variedad de modelos de paneles solares (así como de inversores) junto con los datos de radiación solar anual en las diferentes provincias de España para una orientación Sur y una inclinación de 30°. La plantilla permite ir añadiendo paneles en serie y paralelo y variar la cantidad de inversores a utilizar. Con esos parámetros el sistema calcula, entre otras cosas, la producción anual de energía que se conseguiría con los modelos de paneles e inversor escogidos.

Para este caso, se han ido probando diferentes modelos y configuraciones para llegar a producir el 75% del consumo del centro comercial (296.685 kWh). Dado que los niveles de generación que se quieren conseguir son elevados y que el espacio disponible para la instalación de los paneles es limitado, el criterio para escoger el modelo de los mismos ha sido el de mayor potencia. Con los diferentes modelos de módulos de los que se disponía en la base de datos de la plantilla Excel la potencia generada era insuficiente, por lo que se han tenido que añadir varios modelos distintos de paneles solares de potencias mayores.

Tras una serie de pruebas, se ha llegado a la conclusión de diseñar una instalación dividida en varios grupos debido a las limitaciones de espacio de la cubierta. En total, se han creado 6 zonas distintas alrededor de la superficie, tanto en las partes inclinadas como horizontales, sobre las que se diseñaran los distintos grupos que formaran la instalación. Las zonas de la cubierta se pueden ver en la siguiente ilustración:



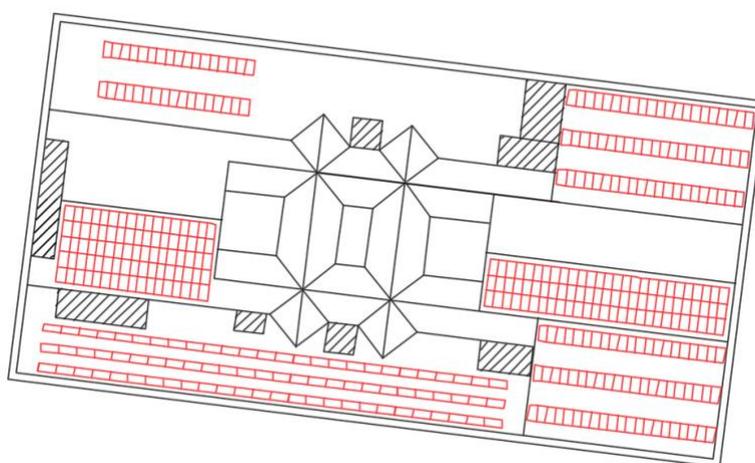
*Figura 9: Zonas de división de la cubierta del edificio*

Nótese que, entre todas las partes de la cubierta con inclinación, solo se colocaran paneles en aquellas que estén orientadas al Sur para aprovechar al máximo la radiación.

Teniendo en cuenta las limitaciones de espacio y la energía que se quiere producir, se decide crear los siguientes 6 grupos:

- 2 grupos de 3 ramas en paralelo de 21 módulos (zonas 1 y 2)
- 1 grupo de 5 ramas en paralelo de 17 módulos (zona 3)
- 1 grupo de 3 ramas en paralelo de 26 módulos (zona 4)
- 1 grupo de 3 ramas en paralelo de 27 módulos (zona 5)
- 1 grupo de 2 ramas en paralelo de 17 módulos (zona 6)

Todo ello hace un total de 404 módulos que producirán 297.106 kWh de energía cada año. Dentro de los datos que modela la plantilla Excel está el de la superficie que ocupa toda la instalación, que en este caso es de 1043 m<sup>2</sup>. La diseño completo de la instalación fotovoltaica es el siguiente:

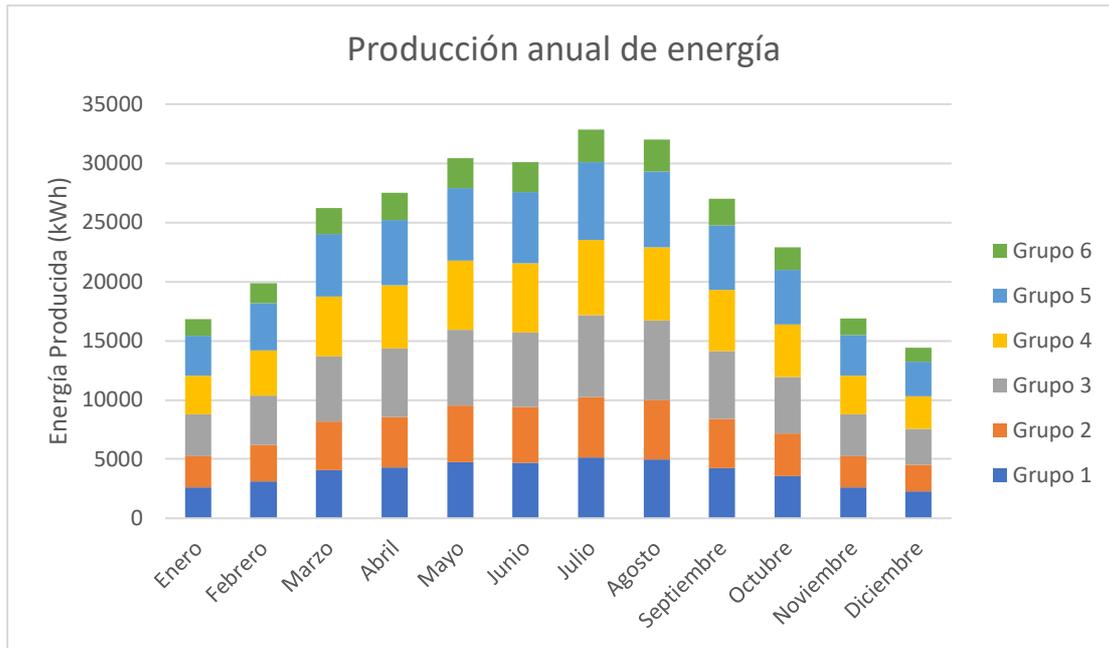


**Figura 10:** Esquema de la disposición de los módulos

La producción total a lo largo de un año conseguida por cada uno de los grupos es la siguiente:

kWh	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Total
Enero	2628,70	2628,70	3546,66	3254,58	3379,76	1418,66	16857,05
Febrero	3097,66	3097,66	4179,38	3835,20	3982,70	1671,75	19864,35
Marzo	4090,11	4090,11	5518,40	5063,95	5258,71	2207,36	26228,65
Abril	4290,22	4290,22	5788,39	5311,70	5515,99	2315,35	27511,86
Mayo	4748,55	4748,55	6406,78	5879,16	6105,28	2562,71	30451,04
Junio	4694,26	4694,26	6333,52	5811,94	6035,47	2533,41	30102,86
Julio	5121,95	5121,95	6910,56	6341,46	6585,36	2764,23	32845,50
Agosto	4990,41	4990,41	6733,09	6178,60	6416,24	2693,24	32002,00
Septiembre	4212,44	4212,44	5683,46	5215,41	5416,00	2273,38	27013,14
Octubre	3571,29	3571,29	4818,41	4421,60	4591,66	1927,36	22901,60
Noviembre	2633,49	2633,49	3553,12	3260,51	3385,92	1421,25	16887,78
Diciembre	2251,89	2251,89	3038,27	2788,05	2895,29	1215,31	14440,69
<b>Total año</b>	<b>46330,97</b>	<b>46330,97</b>	<b>62510,04</b>	<b>57362,15</b>	<b>59568,39</b>	<b>25004,01</b>	<b>297106,52</b>

**Tabla 1:** Producción anual de la instalación por grupos



**Figura 11:** Generación anual de energía por la instalación fotovoltaica

El total de la energía generada por la instalación a lo largo del año es de 297.106 kWh, que es superior a los 296.685 kWh que se marcaron como objetivo. Como se puede observar en la Figura 11, la producción es superior en los meses de verano debido al aumento de las horas de luz durante el día.

## 1.2.5 Componentes utilizados

### 1.2.5.1 Módulos

El modelo de panel solar utilizado es el *SR-72M550HLPro* de la marca *Sunrise* y presenta las siguientes propiedades físicas y eléctricas:

<i>SR-72M550HLPro</i>	
Dimensiones (m)	1,133 x 2,278 x 0,035
Peso (kg)	28,00
Material	Silicio Monocristalino

**Tabla 2:** Propiedades físicas del panel elegido

<i>SR-72M550HLPro</i>	
Potencia Nominal	540 Wp
Intensidad de cortocircuito (I <sub>cc</sub> )	13,96 A
Intensidad en punto de máxima potencia (I <sub>pmp</sub> )	13,26 A
Tensión de vacío (V <sub>oc</sub> )	49,34 A
Tensión en punto de máxima potencia (V <sub>pmp</sub> )	40,74 V

**Tabla 3:** Propiedades eléctricas del panel elegido

Teniendo en cuenta que toda la instalación cuenta con 404 módulos, la potencia total del campo fotovoltaico es de:

$$Potencia\ instalada = 540\ Wp \cdot 404 = 218160\ Wp$$

### 1.2.5.2 Inversor

Para elegir el inversor más adecuado se ha tenido en cuenta que la potencia de la instalación debe de ser entre un 8% y 20% mayor que la potencia total del inversor. Por ello, se ha optado por utilizar el modelo *Sun2000-215KTL-H0*, de la marca *Huawei*. Cada inversor tiene una potencia de 200.000 W por lo que el coeficiente resultante es el siguiente:

$$\frac{P_{instalada} - P_{inversores}}{P_{inversores}} = \frac{218160 - 200000\ Wp}{200000\ W} = 0,0908 = 9,08\%$$

El inversor elegido tiene las siguientes propiedades eléctricas:

<i>Sun2000-215KTL-H0</i>	
Potencia nominal	200.000 W
Tensión pmp mínima	500 V
Tensión pmp máxima	1500 V
Tensión máxima admitida	1500 V
Potencia PV máxima	215.000 Wp
Intensidad máxima	155,2 A
Tensión de arranque	550 V

**Tabla 4:** *Propiedades eléctricas del inversor elegido*



**Figura 12:** *Módulo Solar SR-72M550HLPro e inversor Sun2000-215KTL-H0*

### 1.2.5.3 Cableado

El dimensionado del cableado se realiza analizando por separado las dos partes en las que se divide la instalación: la correspondiente al lado de corriente continua y la del lado de corriente alterna. En cada parte se deben de cumplir los dos criterios que exige el REBT (Reglamento Electrónico de Baja Tensión) que son el de la máxima intensidad admisible y el de la máxima caída de tensión admisible.

El primero de ellos indica que la máxima intensidad que circula por el cable no puede exceder al límite de corriente que aguanta la sección de ese cable. Para ello el REBT publica unas tablas con las intensidades máximas que pueden circular por cada conductor en función de la sección, el tipo de instalación y el aislamiento.

*Tabla A - Intensidades admisibles para cables con conductores de cobre, no enterrados  
Temperatura ambiente 40°C en el aire*

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
A1												
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE			
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE					
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE
Sección mm <sup>2</sup> COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	678
400	--	--	--	431	480	515	552	609	645	674	770	812
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071

Se indican como 3x los circuitos trifásicos y como 2x los monofásicos.  
A efecto de las intensidades admisibles los cables con aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1) son equivalentes a los cables con aislamiento de policloruro de vinilo (V).

**Tabla 5: Intensidades admisibles para cada sección de cable de cobre**

En nuestro caso se utilizarán conductores aislados en tubos en montaje superficial, lo que se corresponde con el método de instalación B1. Además, se utilizará como aislamiento térmico XLPE, que aguanta una temperatura máxima en el conductor de 90°C.

El segundo criterio indica que no se puede superar la máxima caída de tensión entre dos puntos de una instalación. Para el caso de este tipo de proyectos el REBT estipula este límite en un 1,5% para la intensidad nominal, tanto para la parte de corriente continua como la de alterna. Por tanto, la sección del cable siguiendo este criterio se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc} \cdot \cos \varphi}{C \cdot \Delta U}$$

Siendo:

S: sección del cable (mm<sup>2</sup>)

L: Longitud del cable (m)

I<sub>cc</sub>: Corriente de cortocircuito (A)

C: Conductividad del cobre a 90°C  $\left(44 \frac{m\Omega}{mm^2}\right)$

ΔU: Caída de tensión máxima permitida en el cable (1,5% V)

A continuación se va a calcular la sección del cableado en las dos zonas en las que se ha dividido la instalación según los criterios ya mencionados.

#### Lado de Corriente Continua:

- Criterio de máxima intensidad admisible:

Atendiendo a la *Tabla 5*, se deberá usar la información de la fila B1 y se tendrá que utilizar una de las dos columnas correspondientes al aislamiento XLPE. Como se trata de corriente continua los conductores activos son dos por lo que habrá que situarse en la columna 10. Como se puede observar, la intensidad límite para una sección de 1,5 mm<sup>2</sup> es de 20A. En nuestro caso la máxima intensidad que circulará es de 13,96 A, que se corresponde con la intensidad de cortocircuito, por lo que no habrá ningún problema

- Criterio de máxima caída de tensión:

El límite de la caída de tensión es un 1,5%. La tensión en el punto de máxima potencia se va a tomar la del inversor que es de 1500V, por tanto la máxima caída de tensión admisible es:

$$\Delta U = 1,5\% \cdot V_{pmp} = 1,5\% \cdot 1500 = 22,5 V$$

Si se aplica la fórmula vista anteriormente considerando  $\cos\varphi=1$  (ya que es corriente continua) y para una longitud de cable estimada de 150 m obtenemos la siguiente sección para el cable en este tramo:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc} \cdot \cos \varphi}{C \cdot \Delta U} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 13,96 \cdot 1}{44 \cdot 22,5} = 4,23 \text{ mm}^2$$

Entre los dos criterios escogemos el más restrictivo por lo que utilizaremos un cableado con la siguiente sección normalizada mayor que  $4,23 \text{ mm}^2$ , es decir,  $6 \text{ mm}^2$ .

#### Lado de Corriente Alterna:

- Criterio de máxima intensidad admisible:

En este caso se debe usar la información correspondiente a la columna 8, ya que la instalación sigue siendo del tipo B1 y con aislamiento de XPLE pero en este caso se usaran tres conductores activos. La intensidad máxima con la que se dimensionará el tramo de corriente alterna según el REBT corresponde al 125% de la intensidad nominal del inversor. El inversor que se ha seleccionado tiene una potencia de 200.000 kW y una tensión nominal de 1080 V por lo que la intensidad nominal se puede calcular como:

$$I = \frac{200000}{\sqrt{3} \cdot 1080} = 106,92 \text{ A}$$

Por tanto, la intensidad límite con la que se va a dimensionar es  $106,92 \cdot 1,25 = 133,64 \text{ A}$ . Atendiendo a la *Tabla 5*, se debe elegir una sección de por lo que habrá que escoger una sección de  $50 \text{ mm}^2$  que puede soportar hasta 145A

- Criterio de máxima caída de tensión:

En corriente alterna la tensión de salida es 230V, por lo que la máxima caída de tensión es :

$$\Delta U = 1,5\% \cdot 230 = 3,45$$

La intensidad que se utilizará para dimensionar será también el 125% de la nominal del inversor. Aplicando la fórmula para el cálculo de la sección suponiendo  $\cos\varphi=1$  y una longitud de 50 m por el interior del edificio:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc} \cdot \cos \varphi}{C \cdot \Delta U} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 133,64 \cdot 1}{44 \cdot 3,45} = 88,04 \text{ mm}^2$$

Entre los dos criterios escogemos el más restrictivo por lo que utilizaremos un cableado con sección normalizada de  $95 \text{ mm}^2$ .

#### 1.2.5.4 Protecciones y puesta a tierra

##### Protecciones:

Las protecciones del sistema se diseñaran de manera que se cumpla con lo establecido en el artículo 11 del Real Decreto 1663/200, sobre las protecciones en instalaciones eléctricas conectadas a la red de baja tensión. Según lo establecido por dicho artículo, el sistema debe contar, al menos, con:

- Interruptor general manual, accesible para la empresa distribuidora en todo momento. Es un interruptor magnetotérmico con intensidad de cortocircuito mayor que la indicada por la empresa distribuidora.
- Interruptor automático diferencial, que protege a las personas en caso de derivación de algún elemento a tierra en la parte continua.
- Interruptor automático de la interconexión, que desconecta la instalación en caso de pérdida de tensión.

##### Puesta a tierra:

La puesta a tierra de la instalación se realizará según lo indicado en el artículo 12 del Real Decreto 1663/2000, sobre las condiciones de puesta a tierra en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión. Se indica lo siguiente:

“La puesta a tierra se hará de tal forma que no altere las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora, asegurando que no se produzcan transferencias de defectos a la red de distribución.

La instalación deberá disponer de una separación galvánica entre la red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas, bien sea por medio de un transformador de aislamiento o cualquier otro medio que cumpla las mismas funciones, con base en el desarrollo tecnológico.

Las masas de la instalación fotovoltaica estarán conectadas a una tierra independiente de la del neutro de la empresa distribuidora de acuerdo con el Reglamento electrotécnico para baja tensión, así como de las masas del resto del suministro.”

Por tanto, se deberá emplear una puesta a tierra independiente para las masas de la instalación que sea independiente de la empleada por la empresa distribuidora. Para ello se conectarán los distintos elementos a un mismo punto de tierra que estará conectado al electrodo de puesta a tierra enterrado en el suelo.

La separación galvánica entre la red y la instalación se conseguirá con el propio transformador de baja tensión del inversor.

### 1.2.5.5 Estructura soporte

Los paneles se colocarán tanto en la parte horizontal de la cubierta como en la inclinada, por lo que será necesario instalar diferentes soportes para conseguir que todos tengan una inclinación final de 30°. Además, para optimizar el espacio, en algunas zonas se ha optado por instalarlos en disposición horizontal y en otras con disposición vertical.

En las zonas 1 y 2 la cubierta es horizontal por lo que es necesario comprar soportes con una inclinación de 30°. Se han colocado de manera vertical formando 3 ramas de 21 módulos. Por tanto, por cada fila será necesario comprar 5 estructuras (4 de cuatro módulos y 1 de cinco módulos), lo que hace un total de 15 estructuras por grupo (12 de cuatro módulos y 3 de cinco módulos). Si contamos los dos grupos, son 30 soportes.

En la zona 6, al ser horizontal y usar la misma orientación, se necesitará el mismo tipo de estructura soporte. Como se tratan de 2 filas de 17 paneles, se necesitarán 4 estructuras por fila (3 de cuatro módulos y 1 de cinco módulos). Por tanto, serán un total de 8 estructuras (6 de cuatro módulos y 2 de cinco).

El modelo de soporte utilizado es el 09V de la marca *SunFields Europe*, que se muestra a continuación:



**Figura 13:** Soporte 09V SunFields

Para la zona 4, al ser horizontal, se necesitarán también unos soportes inclinados 30° pero en este caso, como se ha escogido la disposición de módulos opuesta, será necesario que los soportes sean horizontales. En cada fila hay 26 módulos por lo que serán necesarios 9 soportes (8 de tres módulos y 1 de dos módulos). Como son dos filas, en total se necesitarán 18 estructuras soporte horizontales. El modelo utilizado es el 09H de la misma marca, que se muestra a continuación:



**Figura 14:** Soporte 09H SunFields

Por último, las zonas 3 y 5 están sobre la cubierta inclinada del edificio y los módulos están de forma vertical, por lo que habrá que utilizar soportes coplanares para cubiertas de teja verticales. La zona 3 cuenta con 5 filas de 17 módulos lo que implica que se necesitarán 4 soportes por fila (3 de cuatro módulos y 1 de cinco), lo que hace un total de 20 soportes. La zona 5 cuenta con 3 filas de 27 paneles, por lo que se necesitan 7 estructuras (6 de cuatro módulos y 1 de 3 módulos), lo que hace un total de 21 estructuras. El modelo utilizado en ambos casos será el 01V de la marca *SunFields Europe*.



**Figura 15:** Soporte 01V SunFields

## 1.2.6 Cálculo de pérdidas

Para el diseño de la instalación se tendrá que tener en cuenta una serie de parámetros para la disposición de los módulos con el fin de reducir las pérdidas de energía y conseguir producir lo máximo posible. El IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) establece los siguientes límites máximos admisibles de pérdidas para sistemas fotovoltaicos, que habrá que tener en cuenta para el diseño de la instalación:

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

**Tabla 6:** Límite de pérdidas por el IDAE en instalaciones fotovoltaicas

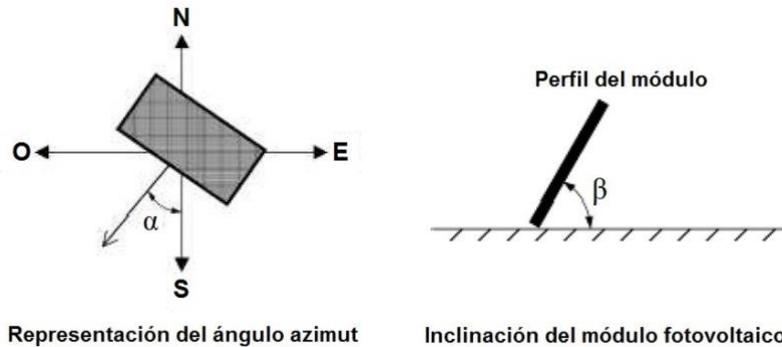
Como se puede observar en la *Tabla 6*, existen dos tipos de pérdidas de energía los sistemas fotovoltaicos: las debidas a la orientación e inclinación de los módulos y las debidas a las sombras por obstáculos en la instalación.

### 1.2.6.1 Pérdidas por orientación e inclinación

Los parámetros que influyen a la hora de calcular la pérdidas e inclinación en una instalación fotovoltaica son los siguientes:

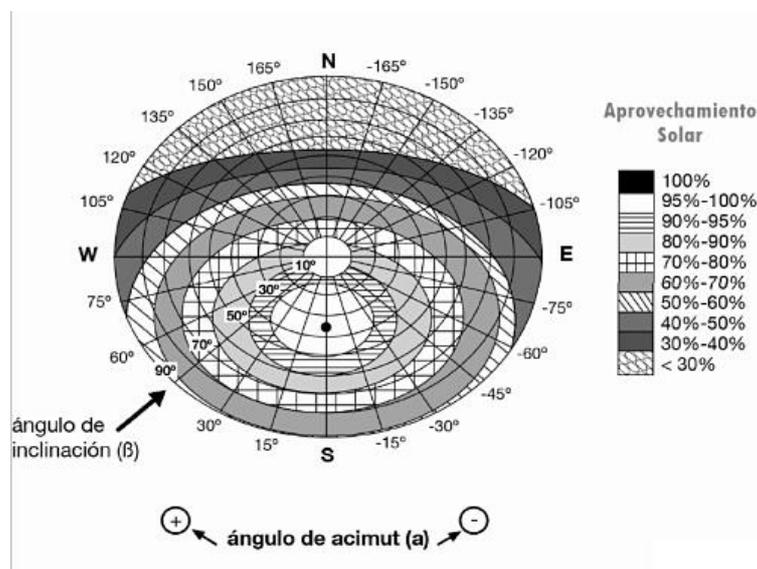
- Ángulo de inclinación ( $\beta$ ): Se define como el ángulo que forma la superficie del módulo con respecto al plano horizontal. Para módulos horizontales su valor es  $0^\circ$  mientras que para módulos verticales es de  $90^\circ$ .

- **Ángulo de azimut ( $\alpha$ ):** Se define como el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo con respecto al meridiano del lugar. Para módulos orientados al Sur su valor es de  $0^\circ$  mientras que para módulos orientados al Este es de  $-90^\circ$  y para módulos orientados al Oeste es de  $90^\circ$ . En este caso, la cubierta del edificio tiene  $7^\circ$  de azimut.



**Figura 16:** Esquema representativo de los ángulos de inclinación y azimut

Para el cálculo de los límites de inclinación de los paneles solares se utilizará el siguiente diagrama que muestra el porcentaje de energía útil respecto al máximo en función de la orientación e inclinación.



**Figura 17:** Diagrama de energía útil respecto al máximo en función de la inclinación y orientación

En el diagrama, los diferentes radios representan el ángulo de azimut del panel solar mientras que los círculos concéntricos representan la inclinación. La intersección de un radio con un círculo indica los puntos de trabajo, situados en las distintas regiones coloreadas que aparecen con la leyenda en el lateral. Este diagrama está desarrollado para una latitud ( $\phi$ ) de  $41^\circ$ , para latitudes distintas se necesita aplicar la siguiente corrección:

$$\text{Inclinación máxima} = \text{Inclinación max} (\phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud})$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{Inclinación min}(\phi = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud})$$

Para este caso (azimut  $\alpha = 7^\circ$ ), se calcularán los ángulos de inclinación límite sabiendo que las máximas pérdidas posibles por orientación e inclinación para el caso general marcadas por la normativa vista anteriormente son del 10%. Para ello, hay que recorrer el borde exterior de la región 90%-95% y situarse en el punto de corte de este con el radio de azimut  $7^\circ$ . Atendiendo a los distintos círculos concéntricos se puede observar que el máximo ángulo de inclinación en este caso es de  $60^\circ$ . Del mismo modo, se observa que el ángulo mínimo se corresponde aproximadamente con  $13^\circ$ .

Como el lugar que se está estudiando se encuentra a una latitud de  $40,47^\circ$  habrá que aplicar la corrección por lo que los ángulos límites son los siguientes:

$$\text{Inclinación máxima} = 60^\circ - (41^\circ - 40,47^\circ) = 59,47^\circ$$

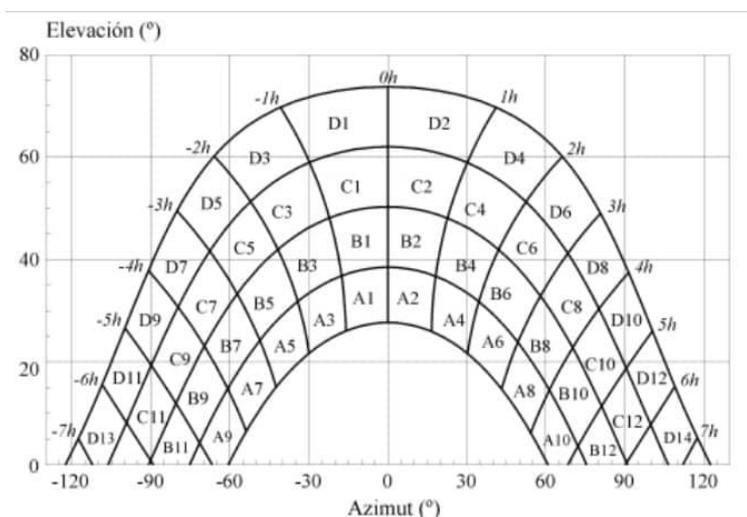
$$\text{Inclinación mínima} = 13^\circ - (41^\circ - 40,47^\circ) = 12,47^\circ$$

La inclinación escogida para los módulos de la instalación ( $30^\circ$ ) está dentro de los límites por lo que no habrá problemas con las pérdidas por orientación e inclinación.

### 1.2.6.2 Pérdidas por sombras

El cálculo de las pérdidas por sombras de la instalación fotovoltaica se realiza por comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie estudiada con el diagrama de trayectorias del Sol.

Para ello, lo primero es la localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en función de sus coordenadas de azimut y la elevación (medida como la inclinación con respecto a la horizontal desde el punto de trabajo). A continuación se debe representar el perfil de obstáculos sobre el siguiente diagrama de trayectorias del Sol:



**Figura 18:** Diagrama de trayectorias del Sol

Este esquema muestra la banda de trayectorias del Sol a lo largo del año para localidades de la Península Ibérica y Baleares. Como se puede ver está dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número.

Cada porción representa el recorrido del Sol en un cierto periodo de tiempo (una hora a lo largo de varios días) por lo que tiene una contribución en la irradiación solar que incide sobre la superficie estudiada. De esta forma, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones implica una pérdida de irradiación en la superficie, ya que será interceptada por el obstáculo.

Gracias a la comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de la *Figura 18* se pueden calcular las pérdidas de irradiación solar a lo largo del año debido al sombreado. Para ello se deben sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente tapadas por el perfil de obstáculos representado. En caso de que la ocultación sea parcial se tendrá que utilizar un factor de llenado que representa la fracción de área oculta respecto del total de la porción aproximando a los valores: 0,25, 0,50, 0,75 o 1.

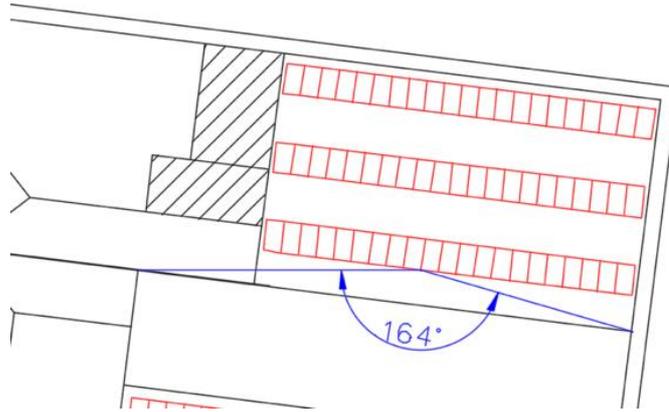
Los porcentajes de irradiación solar global que se perdería cada año para cada porción en caso de ser interceptada por un obstáculo vienen determinados en varias tablas distintas dependiendo del ángulo de inclinación ( $\beta$ ) y orientación ( $\alpha$ ) de las superficies de estudio. Para este caso, la superficie está inclinada  $30^\circ$  y tiene una orientación de  $7^\circ$  de azimut por lo que la tabla que habrá que utilizar, al ser la más próxima, es la siguiente:

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

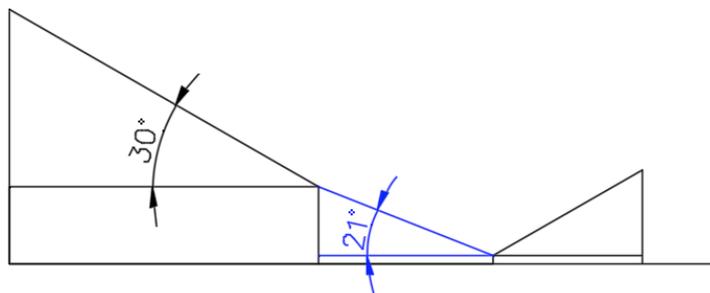
**Tabla 7:** Tabla de referencia para pérdidas por sombra ( $\beta=35$ ,  $\alpha=0$ )

En la instalación fotovoltaica que se ha diseñado, solo hay pérdidas por sombra en las zonas 2 y 6, ya que están obstaculizadas por la zona de la cubierta inclinada que está más al Sur. Para poder dibujar el perfil de sombras es necesario obtener las coordenadas de elevación y azimut, que se hará a partir de los siguientes esquemas:

Zona 2:

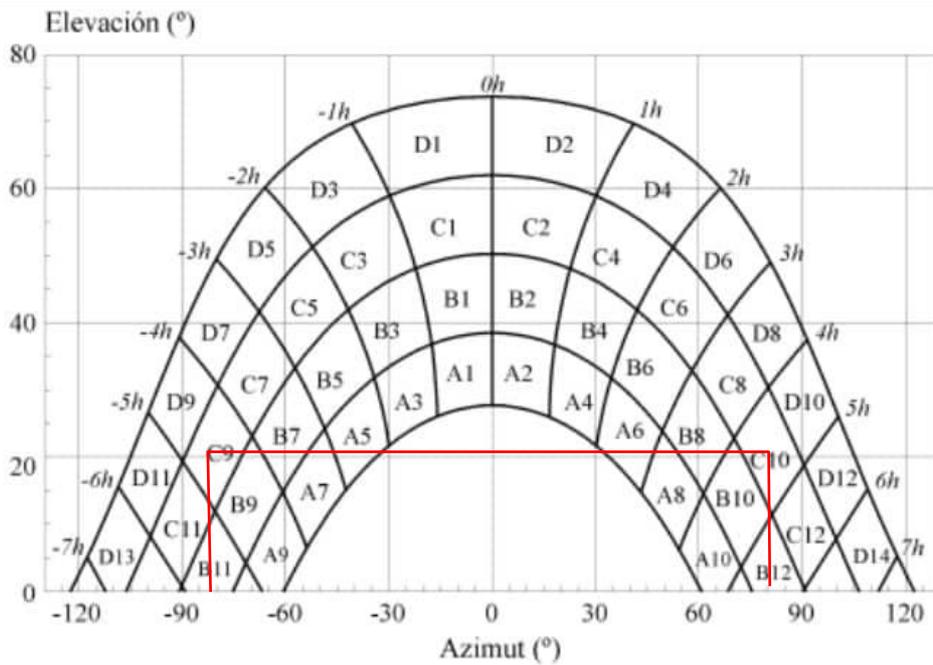


**Figura 19:** Esquema del ángulo de orientación de los obstáculos en la zona 2



**Figura 20:** Esquema del ángulo de elevación de los obstáculos en la zona 2

El perfil de sombras para el punto más crítico está comprendido entre  $\pm 82^\circ$  de azimut ( $164^\circ$  en total) y una elevación constante de  $40^\circ$ . Dibujando el perfil sobre el diagrama de trayectorias del sol resulta el siguiente esquema:

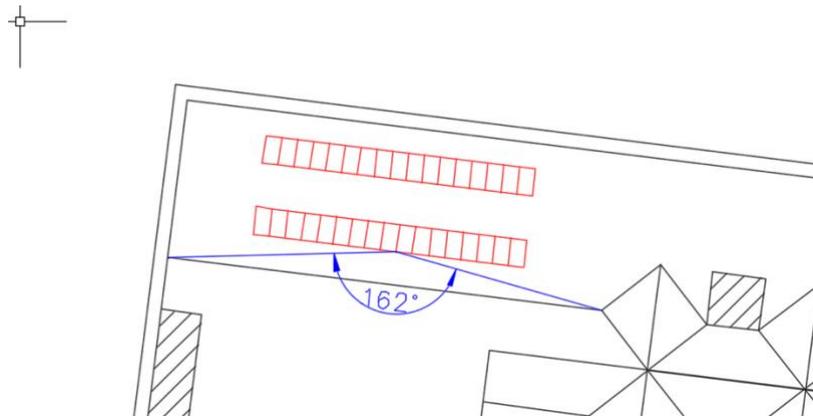


**Figura 21:** Perfil de obstáculos de la zona 2 sobre el diagrama de trayectorias del sol

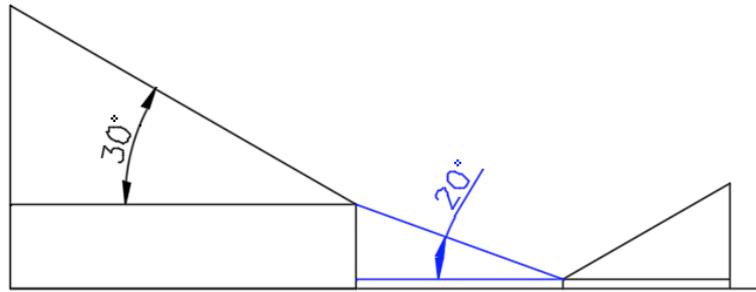
La suma de proporciones afectadas por la sombra multiplicado por su factor de llenado da como resultado:

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas} = & 0,5 \cdot B1 + 0,25 \cdot C9 + 0,75 \cdot B9 + 1 \cdot A9 + 0,25 \cdot B7 + 0,75 \cdot A7 + 0,25 \cdot A5 \\ & + 0,25 \cdot A6 + 0,75 \cdot A8 + 0,25 \cdot B8 + 1 \cdot A10 + 0,75 \cdot B10 + 0,5 \cdot B12 + 0,25 \cdot C10 = 4,04\% \end{aligned}$$

### Zona 6

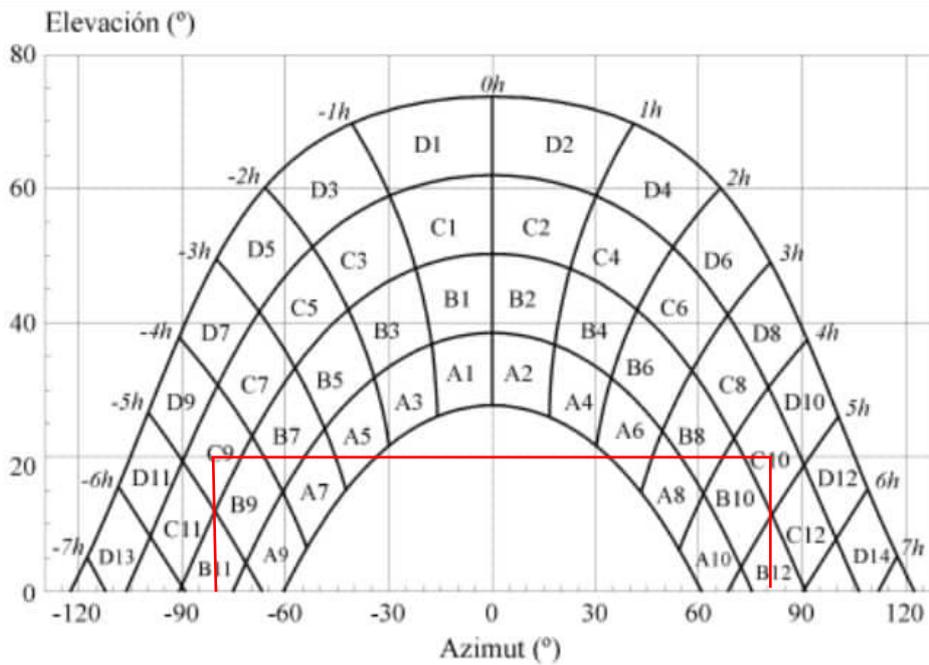


**Figura 22:** Esquema del ángulo de orientación de los obstáculos en la zona 6



**Figura 23:** Esquema del ángulo de elevación de los obstáculos en la zona 6

El perfil de sombras en el punto más crítico está comprendido entre  $\pm 81^\circ$  de azimut (162° en total) y una elevación constante de  $38^\circ$ . Dibujando el perfil sobre el diagrama de trayectorias del sol resulta el siguiente esquema:



**Figura 24:** Perfil de obstáculos de la zona 6 sobre el diagrama de trayectorias del sol

El perfil de sombras es prácticamente idéntico al anterior por lo que podemos asumir que tendrá el mismo porcentaje de pérdidas (4,04%).

Por tanto, el porcentaje total de pérdidas por sombras en el sistema será menor del 10% que marca la norma como límite.

## 1.2.7 Disposición de módulos

Con el objetivo de reducir las pérdidas por sombras entre módulos y aumentar la producción de energía eléctrica, el IDAE establece una distancia mínima de separación entre paralelos.

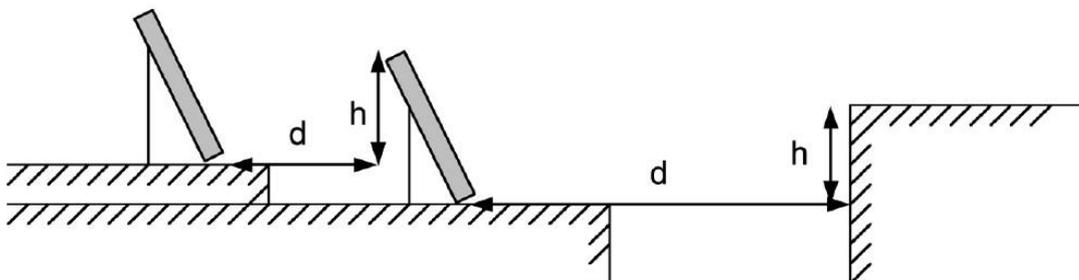
La distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura  $h$  que pueda proyectar sombras, se recomienda que sea tal que garantice al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.

Se establece que  $d$  ha de ser mayor o igual a  $h \cdot k$ , siendo  $k$  un factor adimensional que depende de la latitud del lugar. En la siguiente tabla se recogen algunos valores de  $k$  para diferentes latitudes:

Latitud	29°	37°	39°	41°	43°	45°
$k$	1,600	2,246	2,475	2,747	3,078	3,487

**Tabla 8:** Valores del factor  $k$  en función de la latitud para la disposición de módulos

Del mismo modo, la separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente debe de ser al menos igual a  $h \cdot k$ , siendo  $h$  la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la posterior, efectuándose todas las medidas en el plano que contiene la base de los módulos.



**Figura 25:** Esquema de las distancias para la disposición de los módulos

Si los módulos se instalan en cubiertas inclinadas, en el caso de que el azimut de estos, el de la cubierta, o el de ambos, difieran del valor cero apreciablemente, el cálculo de la distancia entre filas deberá efectuarse mediante la ayuda de un programa de sombreado para casos generales suficientemente fiable, a fin de que se cumplan las condiciones requeridas.

En el caso que se está analizando, se están utilizando paneles de una longitud de 2,278m. Sin embargo, en ocasiones se colocan en vertical (zonas 1,2 y 6) y en ocasiones en horizontal (zona 4), por lo que la altura del panel será distinta en función de cada caso. Sabiendo que el ángulo de inclinación de los mismos es de 30° se puede calcular la altura  $h$  como:

$$h = 2,278 \cdot \sin 30 = 1,139 \text{ m para módulos verticales}$$

$$h = 1,133 \cdot \sin 30 = 0,5665 \text{ m para módulos horizontales}$$

La zona de trabajo está situada a una latitud de  $40,47^\circ$  por lo que, redondeando a  $41^\circ$ , el factor  $k$  utilizado será de 2,747. Por tanto, la distancia ( $d$ ) mínima de separación entre módulos es de:

$$d = k \cdot h = 2,747 \cdot 1,139 = 3,13 \text{ m para módulos verticales}$$

$$d = k \cdot h = 2,747 \cdot 0,5665 = 1,56 \text{ m para módulos horizontales}$$

Por tanto, la distancia entre filas de módulos en la instalación diseñada será de 3,13 m en el caso de que estén de manera vertical y 1,56 m si están dispuestos de manera horizontal. Los módulos colocados sobre las cubiertas inclinadas no requieren de separación ya que las filas de paneles no proyectan sombra sobre las de detrás.

Estas distancias se han respetado a la hora de diseñar la instalación fotovoltaica y realizar los planos, por lo que se garantiza que hay espacio suficiente en la cubierta como para instalar todos los módulos con la separación adecuada.

## 1.3 ESTUDIO ECONÓMICO

Para poder llevar a cabo el desarrollo de la instalación fotovoltaica diseñada se tendrá que realizar una inversión inicial marcada por la compra de materiales y el mantenimiento de la misma. Sin embargo, gracias a este sistema se producirá un ahorro en el consumo eléctrico lo que implicará una reducción económica en la factura energética, ya que parte de la energía que antes se consumía ahora es generada por los paneles fotovoltaicos. De hecho, uno de los objetivos marcados en este trabajo era el de conseguir un ahorro energético del 75% de la demanda anual y que, como se ha podido ver, se ha cumplido.

Por ello, en este apartado se va a analizar la rentabilidad de la instalación fotovoltaica a lo largo de los años para conocer los beneficios y gastos a los que se tendrá que hacer frente.

### 1.3.1 Presupuesto

La inversión a la que habrá que hacer frente está marcada por el precio de los componentes de la instalación y el mantenimiento de la misma. El presupuesto con el que habrá que contar es el siguiente:

Presupuesto		
Elemento	Unidades	Precio Total (€)
Módulos fotovoltaicos Modelo: <i>SR-72M550HLPro</i>	404	104.232
Inversor Modelo: <i>SUN2000-215KTL-H0</i>	1	7.041,62
Estructura Soporte Modelo: <i>01V Sunfields</i>	3x tres módulos 33x cuatro módulos 5x cinco módulos	4.830
Estructura Soporte Modelo: <i>09V Sunfields</i>	30x cuatro módulos 8x cinco módulos	6.616
Estructura Soporte Modelo: <i>09H Sunfields</i>	3x dos módulos 24x tres módulos	4.818
Caja de conexión	1	800
Cableado AC (95 mm <sup>2</sup> )	150 m	1.132
Cableado DC (6 mm <sup>2</sup> )	600 m	582
Protecciones Generales	1	950
Puesta a Tierra	1	625
Mano de obra	1	30.000
Puesta en marcha	1	1.000
<b>SUBTOTAL</b>		<b>162.626,62</b>
Impuestos (21%)		34.151,59
<b>TOTAL</b>		<b>196.778,21</b>

*Tabla 9: Presupuesto de la instalación fotovoltaica diseñada*

### 1.3.2 Ahorro económico

El hecho de contar con una instalación fotovoltaica hace que disminuya el consumo energético de la red, en este caso un 25%, lo que supondrá un ahorro económico. Suponiendo un precio medio de la energía de 0,14 €/kWh (media del precio obtenida de las facturas analizadas para el centro comercial), el ahorro total a lo largo del primer año sería el siguiente:

Mes	Producción (kWh)	Ahorro (€)
Enero	16.857,05	2.359,99
Febrero	19.864,35	2.781,01
Marzo	26.228,65	3.672,01
Abril	27.511,86	3.851,66
Mayo	30.451,04	4.263,15
Junio	30.102,86	4.214,40
Julio	32.845,50	4.598,37
Agosto	32.002,00	4.480,28
Septiembre	27.013,14	3.781,84
Octubre	22.901,60	3.206,22
Noviembre	16.887,78	2.364,29
Diciembre	14.440,69	2.021,70
<b>Total</b>	<b>297.106,52</b>	<b>41.594,91</b>

*Tabla 10: Ahorro económico anual en energía con la instalación fotovoltaica*

### 1.3.3 Rentabilidad

Una vez conocido el presupuesto para la inversión inicial y el ahorro económico anual se puede calcular el plazo a partir del cual la instalación fotovoltaica es rentable, es decir, a partir de cuándo la instalación habrá generado más beneficios que gastos. Para ello es necesario definir primeramente tres indicadores de rentabilidad: el Valor Neto Actual (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación.

El VAN es un criterio para saber si un proyecto es rentable o no. Consiste en trasladar todos los flujos de caja que tienen lugar durante el desarrollo de la inversión al momento presente descontándolos a un tipo de interés. Es un indicador del dinero que se va a ganar o perder, si es positivo significa que la inversión es rentable y ,si es negativo, no lo es. La fórmula para calcular el VAN es la siguiente:

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

Donde:

$I_0$ : Inversión inicial

$F_t$ : Flujo de caja en cada año

$k$ : tasa de descuento

$n$ : Número de años

Por otra parte, el TIR es el valor de la tasa de descuento a partir la cual una inversión es rentable, es decir, es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Es una medida relativa de la rentabilidad y ,cuanto mayor sea, mejor será la inversión. Para calcularlo simplemente hay que igualar a cero la ecuación del VAN vista anteriormente.

Y, por último, el periodo de recuperación es el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial. Es decir, el tiempo para el que la suma de todos los flujos de caja es igual a cero.

- Para poder calcular estos tres indicadores se van a suponer las siguientes hipótesis:
- La vida útil de los paneles solares es de alrededor de 25 años, por lo que el análisis de la inversión se hará para este periodo de tiempo.
- Los paneles solares tienen una bajada de rendimiento del 1 anual (el dato de la ficha técnica de los paneles es 0,676% pero se usa uno mayor para considerar los otros elementos). Por tanto, cada año la energía que se genera es menor.
- La tasa de descuento empleada será del 3,5%
- Se aplicará el impuesto de sociedades del 25% a los beneficios económicos.
- Se trabajará con una inflación del 2% anual, lo que afectará al precio de la energía y a los gastos de mantenimiento cada año.
- Se considerará un precio medio constante cada año por la energía.
- El precio de la energía el primer año del proyecto será de 0,14 €/kWh.

Con todo ello, el cálculo de los indicadores de rentabilidad se hace de la siguiente forma: En primer lugar se calcula el ahorro económico anual en energía, multiplicando la producción energética de la instalación por el precio de la energía cada año (considerando el 2% de inflación anual). Restando a este valor los gastos de mantenimiento anuales y teniendo en cuenta la amortización y el impuesto de sociedades se consigue el flujo de caja cada año. Una vez conocidos los flujos de caja de todos los años se puede realizar el cálculo de todos los indicadores. Los resultados obtenidos son los siguientes:

$$VAN = -196.778,21 + \sum_{t=1}^{25} \frac{F_t}{(1 + 0,035)^t} = 2.734.688,33 \text{ €}$$

$$TIR = 14,8 \%$$

$$\textit{Periodo de recuperación} = 7 \text{ años}$$

El cálculo detallado de estos valores se puede ver en el Anexo I

Una vez calculados estos datos, se puede concluir que la instalación es claramente rentable. En tan solo 7 años se recuperará más de la inversión inicial por lo que se tendrán 18 años de beneficios íntegros.

Además, cabe destacar que no se han tenido en cuenta las ayudas públicas que se ofrecen para la instalación de sistemas fotovoltaicos, ya sea en forma de subvenciones en la instalación o bonificaciones en impuestos como el IBI (Impuesto por Bienes Inmuebles) o el ICIO (Impuesto sobre Construcciones Instalaciones y Obras). Estas medidas tienen como objetivo promover la instalación de sistemas de energía renovables y son ayudas que harían que la instalación diseñada fuera aún más rentable.

## 1.4 IMPACTO AMBIENTAL

### 1.4.1 Reducción de emisiones gracias a la instalación

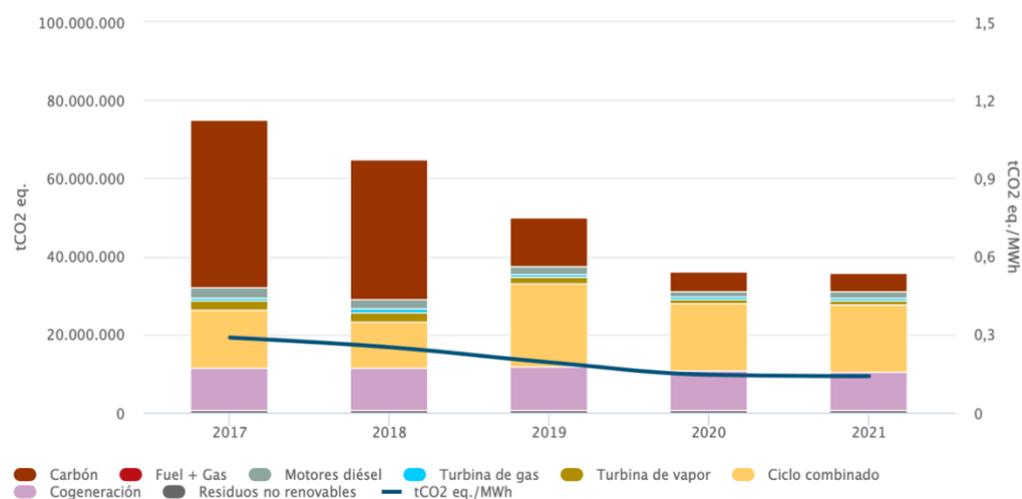
El objetivo principal del trabajo era buscar una mayor eficiencia energética gracias al uso de fuentes de energía renovables en un centro comercial. Se apostó por diseñar una instalación fotovoltaica en la cubierta y se comprobó su viabilidad tanto técnica como económica.

Con estudios como este se demuestra que la instalación de sistemas de generación de energía basados en fuentes renovables no es algo tan complejo y está al alcance de todos. Hoy en día con los elevados niveles de emisión de gases contaminantes y con la alta densidad poblacional en las grandes ciudades, apostar por las renovables es algo que siempre se debería considerar. La sustitución de fuentes de energía basadas en combustibles fósiles por fuentes de energía limpias reduce la emisión de gases de efecto invernadero de una manera más que notable, además de suponer un ahorro económico.

En este caso, con la instalación que se ha diseñado, conociendo la cantidad de energía que se genera podemos calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> que se han evitado. La cantidad de gases que se emiten depende del tipo de tecnología que se utiliza para la generación de la electricidad. Por ejemplo, las centrales de carbón producen casi una tonelada de CO<sub>2</sub> por cada MWh que generan mientras que las de ciclo combinado producen aproximadamente 400 kg por cada MWh. En España se cuenta con un mix energético, por lo que el tipo de generación depende del perfil de demanda en cada momento. Para simplificar el cálculo se utilizará como factor de emisión el promedio anual del sistema español en 2021, que fue de 0,14 toneladas/MWh.

#### EMISIONES Y FACTOR DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> EQ. DE LA GENERACIÓN (tCO<sub>2</sub> eq. | tCO<sub>2</sub> eq./MWh) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional

Del 2017 al 2021



**Figura 26:** Emisiones y factor de emisión de CO<sub>2</sub> en España entre 2017 y 2021

Teniendo en cuenta que la energía generada anualmente por la instalación fotovoltaica es 297.107 kWh, la cantidad de CO<sub>2</sub> que se ha evitado emitir a la atmósfera por año es de:

$$Emisiones\ de\ CO_2 = 297.107\ kWh \cdot 0,14 \frac{t\ CO_2}{MWh} \cdot \frac{1\ MWh}{1000\ kWh} = 41,595\ t\ CO_2$$

### 1.4.2 Impacto medioambiental de la instalación

Para conocer por completo lo que implica a nivel medioambiental el desarrollo de la instalación fotovoltaica es necesario también tener en cuenta las emisiones de gases contaminantes que se producen en el proceso de fabricación de los componentes de la instalación.

Con la tecnología actual, la cantidad de CO<sub>2</sub> que se emite por la fabricación de un panel solar fotovoltaico se estima en 498 kg. Teniendo en cuenta que en la instalación diseñada se van a utilizar 404 paneles, la emisión total será de 201,19 toneladas. Para comparar con la cifra de emisiones evitadas calculada en el apartado anterior suponemos una vida útil de 25 años por cada panel y se calculan las emisiones por año:

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \frac{201,19\ t\ CO_2}{25\ años} = 8,047\ t\ CO_2$$

Por tanto, teniendo en cuenta todos los factores, las emisiones netas de CO<sub>2</sub> que se evitan por año son:

$$Emisiones\ de\ CO_2 = 41,595 - 8,047 = 33,548\ t\ CO_2$$

## 1.5 BIBLIOGRAFÍA

- Endef. (2020, 30 marzo). *Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas: ¿Cómo encontrar mi instalación ideal?* <https://endef.com/tipos-de-instalaciones-solares-fotovoltaicas-como-encontrar-la-ideal-para-mi/>
- Planas, O. (2022, 12 marzo). *Partes y elementos de una instalación solar fotovoltaica.* Energía Solar. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos>
- IDAE. (2011, julio). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red.* ProgenSA. [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos\\_5654\\_FV\\_pliego\\_condiciones\\_tecnicas\\_instalaciones\\_conectadas\\_a\\_red\\_C20\\_Julio\\_2011\\_3498eaaf.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf)
- Lorenzo, J. A. A. (2022, 24 enero). *Placas Solares Fotovoltaicas - La Guía 2022.* SunFields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/autoconsumo/placas-solares-fotovoltaicas/>
- Francisco, M. (2022, 23 junio). *¿Cómo calcular la potencia y el tamaño de un panel solar?* ManoMano. <https://www.manomano.es/consejos/como-calcular-la-potencia-y-el-tamano-de-un-panel-solar-4506>
- Lorenzo, J. A. A. (2022b, febrero 1). *Manual de cálculo de instalación fotovoltaica aislada con baterías.* SunFields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-sistema-fotovoltaico-aislado/>
- Rodríguez, E. (2009). *Calcular la Sección Cables Para Instalación Solar Fotovoltaica.* Areatecnología. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/cables-fotovoltaica.html>
- Recio Maíllo, L. (2019, 10 septiembre). *Cálculo de líneas para una instalación fotovoltaica de 5 kW para autoconsumo.* Prysmian Club. <https://www.prysmianclub.es/calculo-de-lineas-para-una-instalacion-fotovoltaica-de-5-kw-para-autoconsumo/>
- Ceen, C. (2015, 8 enero). *Pérdidas por Inclinación y Orientación.* Eficiencia Energética. <https://certificacionenergetica.info/perdidas-por-inclinacion-y-orientacion/>
- Sunfields. (2022, 24 mayo). *Soportes para paneles solares fotovoltaicos.* SunFields. <https://www.sfe-solar.com/estructura-paneles-solares/>
- REE. (2022). *REData - No renovables detalle emisiones CO2.* Red Eléctrica. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>

## 1.6 ANEXOS

### 1.6.1 ANEXO I: Modelo Económico de la Instalación Fotovoltaica

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Generación (kWh)	297106,52	294135,45	291194,10	288282,16	285399,34	282565,34	279719,89	276922,69	274153,47	271411,93	268697,81	266010,83	263350,72	260717,22	258110,05	255528,94	252973,68	250443,92	247939,48	245466,08	243005,48	240554,3	238109,67	235787,98	233480,10	231225,2	
Precio energía (€/kWh)	0,14	0,1428	0,1457	0,1486	0,1515	0,1546	0,1577	0,1608	0,1639	0,1673	0,1707	0,1741	0,1776	0,1811	0,1847	0,1884	0,1922	0,1960	0,2000	0,2040	0,2080	0,2122	0,2164	0,2208	0,2252	0,2297	
Ahorro económico (€)	41594,91	42002,54	42414,17	42829,83	43249,56	43673,40	44101,40	44533,60	44970,03	45410,73	45855,76	46305,14	46758,94	47217,17	47679,90	48147,16	48619,01	49095,47	49576,61	50062,46	50553,07	51048,49	51548,77	52053,94	52564,07	53079,14	
Mantenimiento (€)	-2500,00	-2550,00	-2600,00	-2653,02	-2706,08	-2760,20	-2815,41	-2871,71	-2929,15	-2987,73	-3047,49	-3108,44	-3170,60	-3234,02	-3298,70	-3364,67	-3431,96	-3500,60	-3570,62	-3642,03	-3714,87	-3789,17	-3864,95	-3942,25	-4021,09	-4101,47	
Inversión (€)	-196778,21																										
Amortización		-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13	-7871,13
BAI		3123,78	3158,14	3196,04	32305,68	32672,95	3304,07	3341,87	3379,07	3416,75	3455,87	3497,14	3539,58	3579,20	3612,03	3651,08	3691,37	3731,91	3772,74	3813,86	3854,90	3896,70	3938,20	3981,69	4026,57	4071,85	4117,52
Impuesto de Sociedades		-7805,95	-7895,35	-7985,51	-8076,42	-8168,09	-8260,52	-8353,72	-8447,69	-8542,44	-8637,97	-8734,29	-8831,40	-8929,30	-9028,01	-9127,52	-9227,84	-9328,98	-9430,94	-9533,72	-9637,33	-9741,77	-9847,05	-9953,17	-10060,14	-10167,96	-10276,63
BDI		2341,84	2368,66	2396,53	2429,26	2460,46	2481,56	2506,15	2534,07	2562,31	2591,91	2622,86	2664,19	2687,90	2704,42	2723,56	2768,52	2788,94	2829,28	2860,15	2891,98	2925,31	2954,15	2989,52	30180,43	30503,89	30828,89
Amortización		7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13	7871,13
Flujo de Caja		31288,97	31597,19	3187,66	32100,39	32375,99	32652,68	32929,28	33214,19	33498,44	33782,03	34073,99	34385,31	34699,03	34955,15	35234,69	35554,65	35899,06	36163,93	36477,28	36783,11	37096,43	37412,28	37730,65	38051,55	38375,02	38701,07
Flujo de Caja Asumido		-196778,21	-165489,74	-139932,05	-102104,40	-70004,01	-37628,62	-4976,93																			
VAN		2.734.688,33 €																									
TIR		14,8%																									
Periodo Recuperación		7 años																									

## 1.6.2 ANEXO II: Plantilla Excel que modela la producción de la instalación

### CONFIGURADOR DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS DE CONEXIÓN A RED \*

#### MÓDULO GAMESA SOLAR

Sunrise 540

Número Series	21
Número Paralelos	3

#### PROPIEDADES ELÉCTRICAS MÓDULO

MODELO	Sunrise 540	
Potencia Nominal	540	Wp
Icc	13,96	A
Ipmp	13,26	A
Voc	49,34	V
Vpmp	40,74	V
Voc(-10 °C)	-	V
Coef T°	-	mV/°C
TONC	-	°C
CLASE II	1.500,00	V

#### PROPIEDADES FÍSICAS MÓDULO

MODELO	Sunrise 540	
Largo	1,133	m
Alto	2,278	m
Profundo	0,0350	m
Peso	28,00	kg
Fabricante	-	
Célula	-	
Material	-	

#### MÓDELO INVERSOR

SUN2000-215KTL-H0

Número inversores	1
-------------------	---

#### PROPIEDADES ELÉCTRICAS INVERSOR

MODELO	SUN2000-215KTL-H0	
FABRICANTE	HUAWEI	
Potencia Nominal	200.000	W
Vpmp mínima	500	V
Vpmp máxima	1.500	V
V máx admítida	1.500	V
Potencia PV máx	215.000	Wp
I máx	155	A
V arranque	550	V
V parada	-	V

TIPO INSTALACIÓN FIJA

Emplazamiento MADRID

PRODUCCION ESTIMADA

CONFIGURACION ESPACIAL

#### CAMPO FOTOVOLTAICO

Número Módulos 9900 32 7,9

#### CONFIGURACIÓN ELÉCTRICA

Icc	41,88	A	O.K.
Ipmp	39,78	A	O.K.
Voc	1.036,14	V	O.K.
Vpmp	855,54	V	O.K.
Voc (-10 °C)	-	V	Error!!!

#### POTENCIA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

191.400  
Potencia Instalada 34.020 Wp O.K.  
Potencia Inversores 200.000 W

Ratio Wp/W -82,99% Muy bajo

T° mínima módulo (°C) 19  
Voc módulo 49,34 V  
Voc generador 1.036,14 V O.K.

T° máxima módulo (°C) 70  
Voc módulo 49,34 V  
Voc generador 1.036,14 V O.K.

Superficie módulos 163 m2  
Peso total 1.764 kg  
T° amb media sup 24,4 °C  
T° amb media inf 6,2 °C  
TONC (T° amb media sup) - 1 °C

### ESTIMACION PRODUCCION

Emplazamiento MADRID

1434kwh/kwp surtec 0,970230041  
1478 kwh/h 17307,38 1,040016767

Tipo instalación FIJA

Mes	Nº días	kWh/m²/día	Producción kWh/mes	€
Enero	31	3,09	2.628,70	1.097,48
Febrero	28	4,07	3.097,66	1.293,27
Marzo	31	5,13	4.090,11	1.707,62
Abril	30	5,55	4.290,22	1.791,17
Mayo	31	6,00	4.748,55	1.982,52
Junio	30	6,41	4.694,26	1.959,85
Julio	31	6,91	5.121,95	2.138,41
Agosto	31	6,69	4.990,41	2.083,50
Septiembre	30	5,74	4.212,44	1.758,70
Octubre	31	4,44	3.571,29	1.491,01
Noviembre	30	3,26	2.633,49	1.099,48
Diciembre	31	2,65	2.251,89	940,16
Promedio	365	5,00	46.331	19.343,18

Wp	540
n° mod	63
kWp	34,02
kW	200,00
€/kWh	0,41750 €
Ganancia	0%
Otras Pérdidas	100%

BASES RADIACION *	
CENSOLAR	SI
IES-ISPRA	SI
REGIONAL	NO

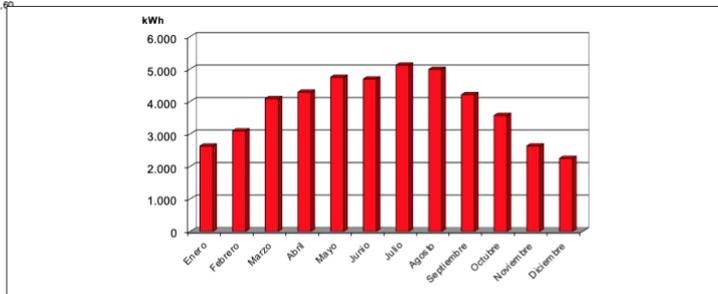
por 23 representacion n 38.640,03 \* Orientación: Sur. Inclinación 30°

Horas Sol Equivalentes/año 1.362  
Horas Sol Pico/año 1.825

	Carbón	Ciclo Combinado
CO <sub>2</sub> (g/kWh)	952	345
SO <sub>2</sub> (g/kWh)	21,0	0,0
NOx (g/kWh)	3,2	0,1

#### Emisiones de gases contaminantes evitados en función de la tecnología utilizada

	Carbón	Ciclo Combinado
CO <sub>2</sub> (kg)	44.107,1	15.984,2
SO <sub>2</sub> (kg)	973,0	0,0
NOx (kg)	148,3	4,6
Energía	18,5	Hogares



Radiación Solar	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
kWh/m²/día	3,09	4,07	5,13	5,55	6,00	6,41	6,91	6,69	5,74	4,44	3,26	2,65	5,00
(MWh/m²/año)	11,1	14,7	18,5	20,0	21,6	23,1	24,9	24,1	20,7	16,0	11,7	9,5	215,9
kWh	2.629	3.098	4.090	4.290	4.749	4.694	5.122	4.990	4.212	3.571	2.633	2.252	46.331

### 1.6.3 ANEXO III: Alineamiento con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

En 2015 la ONU, con el objetivo de hacer un mundo mejor de cara al 2030, creó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Esta es una iniciativa que abarca todo tipo de causas, como el fin de la pobreza, el cuidado del medioambiente, la búsqueda de la paz, etc. En total son 17 ODS que marcan el camino que debe de seguir la sociedad para prosperar, y están todos integrados entre sí.



*Figura 27: Objetivos de Desarrollo Sostenible*

Como es responsabilidad de todos formar parte activa de este cambio, este trabajo se ha desarrollado también teniendo en cuenta los ODS. El objetivo principal de este proyecto era promover y comprobar la viabilidad del uso de fuentes de energía renovables para garantizar una eficiencia energética, por lo que sobre todo hace hincapié en los objetivos relacionados con el cuidado del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático. Es decir, los ODS con los que este proyecto tiene relación directa son:

- Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.

La tendencia del mundo en la producción de energía en los últimos años muestra que se está apostando cada vez más por el uso de las fuentes renovables aunque aún hay camino que recorrer. Es necesario promover más el uso de sistemas de producción basados en recursos naturales para conseguir que llegue al mayor población posible. El hecho de que se fomente y se haga mayor incidencia sobre ello puede hacer que, junto con el avance de la tecnología, se reduzcan los costes en la instalación de estos sistemas y se pueda convertir en algo al alcance de todos.

Mediante este proyecto se ha podido observar la sencillez en la instalación de un sistema fotovoltaico, los beneficios que tiene a nivel medioambiental y el ahorro económico que supone en el medio-largo plazo. Promocionando cada vez más este tipo de instalaciones se puede lograr llegar a mucha gente y que el impacto medioambiental que se genere sea aún mayor.

- Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

En un mundo como el de ahora, en el que las ciudades están tan masificadas, alrededor del 70% de las emisiones de carbono mundiales provienen de los núcleos urbanos, por lo que es importante hacer algo al respecto.

Gracias a este proyecto se ha comprobado la viabilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos en la cubierta de edificios, lo que ayuda enormemente a la reducción del impacto medioambiental negativo de las ciudades. La energía solar fotovoltaica se presenta como una opción económica y sencilla, de fácil implementación en casi cualquier edificio y con una vida útil considerable, lo que la convierte en una de las principales bazas para dejar de depender de los combustibles fósiles en las ciudades.

- Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

La economía mundial, a día de hoy, depende del uso del medio ambiente y de los recursos naturales, teniendo efectos negativos sobre el planeta. El aumento del consumo y la producción que se está llevando a cabo son desproporcionados e incapaces de ser abastecidos con los recursos limitados del planeta. Es por ello que es necesario tener una conciencia más responsable a la hora de consumir y buscar modelos de producción sostenibles, haciendo un uso eficiente de los recursos naturales.

A través de este proyecto se busca una producción de energía sostenible, haciendo un uso inteligente de la misma para lograr una eficiencia energética, intentando lograr un ciclo de producción y consumo sostenibles.

- Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

El cambio climático es un problema real del que ya se están viendo consecuencias alrededor de todo el mundo. La emisión de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero está suponiendo un grave problema para el medio ambiente en el que, como no se empiecen a tomar medidas de manera urgente, los cambios serán irreversibles.

Con este proyecto se promueve el uso de fuentes de energía limpias en sustitución de aquellas que dependen de los combustibles fósiles y que son contaminantes. Se ha comprobado la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que implica el cambio a un sistema de generación de energía renovable, garantizando que se cubre la demanda necesaria.

## **Documento 2. Planos**

### **2.1 LISTADO DE PLANOS**

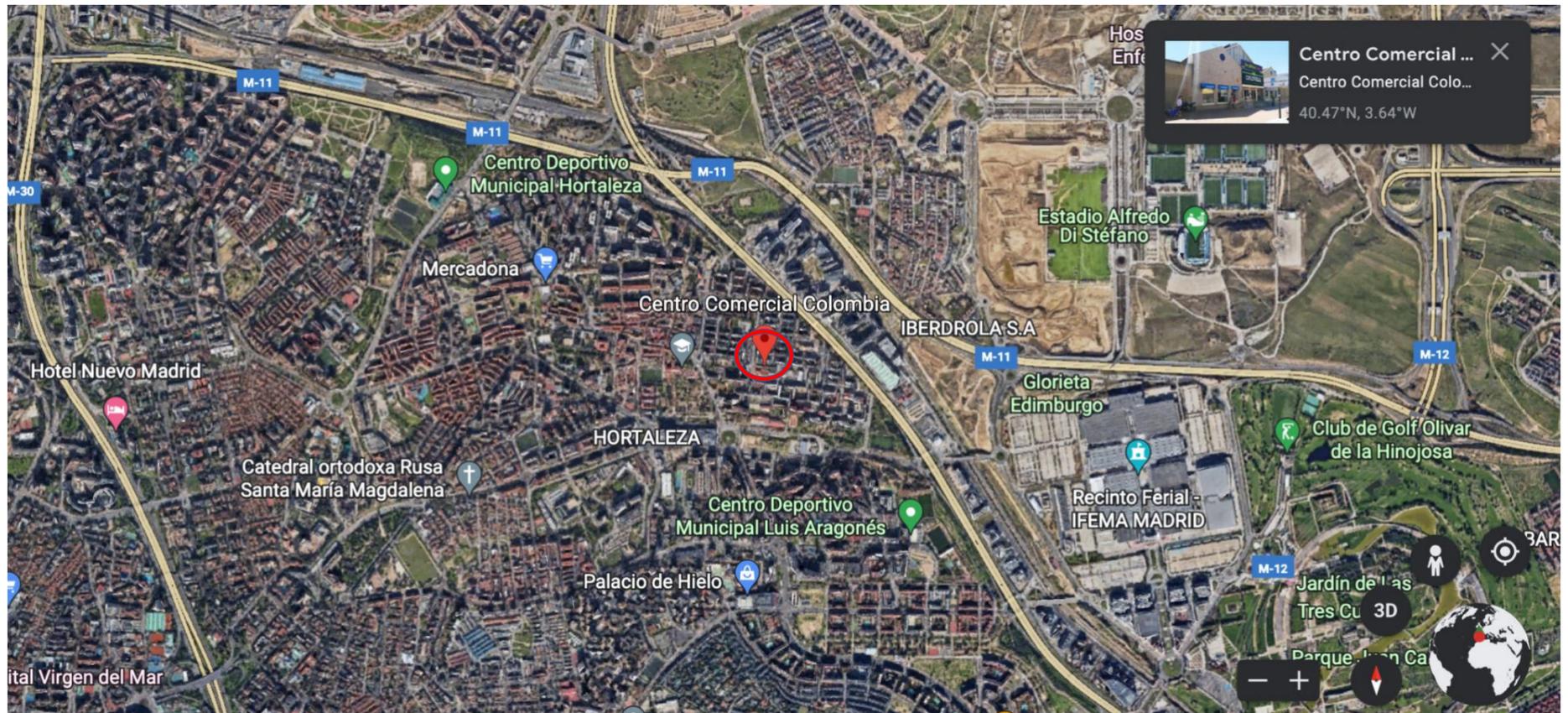
*Plano 1:* Emplazamiento

*Plano 2:* Vista en planta de la cubierta del centro comercial

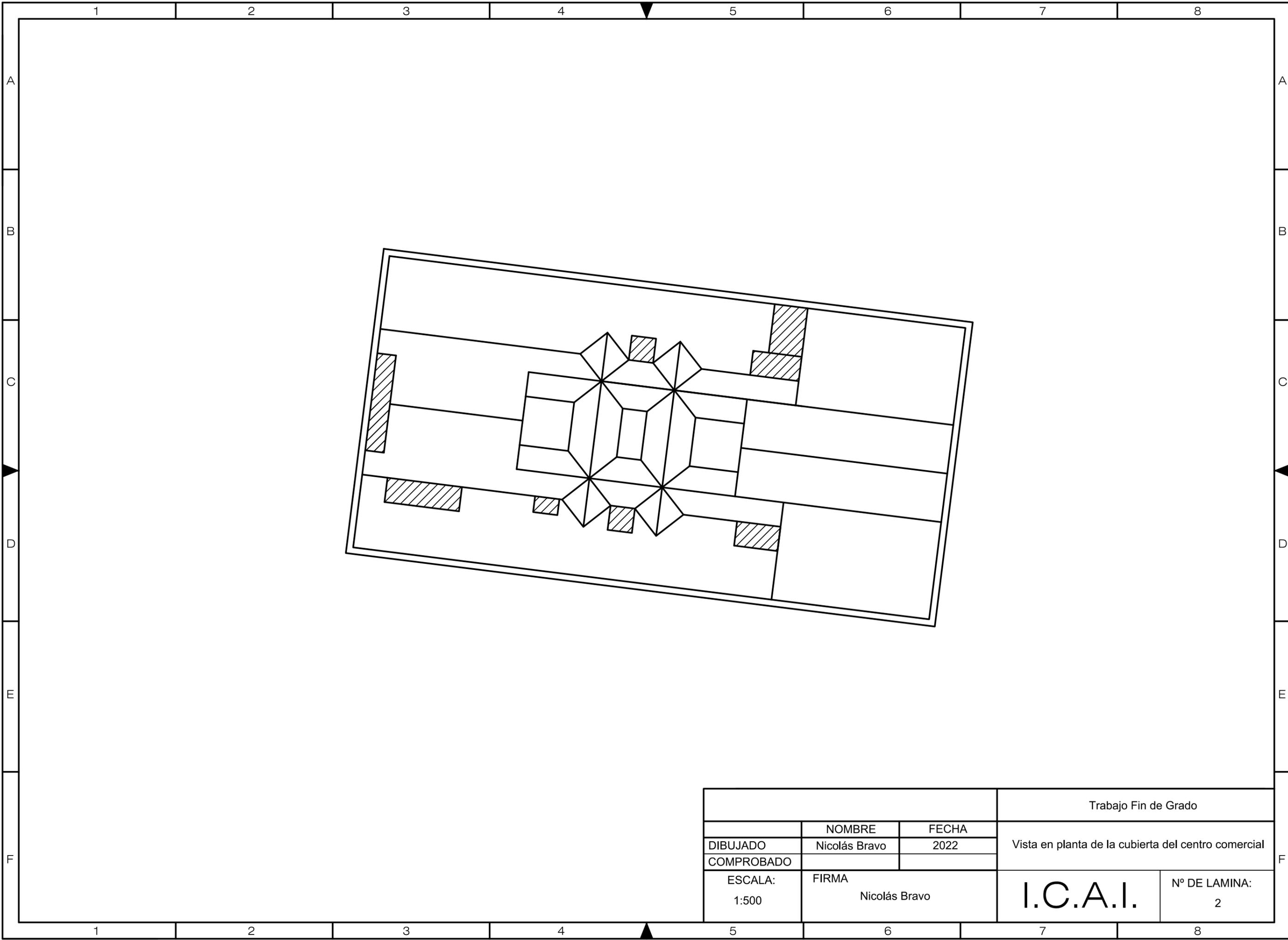
*Plano 3:* Sistema fotovoltaico

*Plano 4:* Esquema instalación fotovoltaica

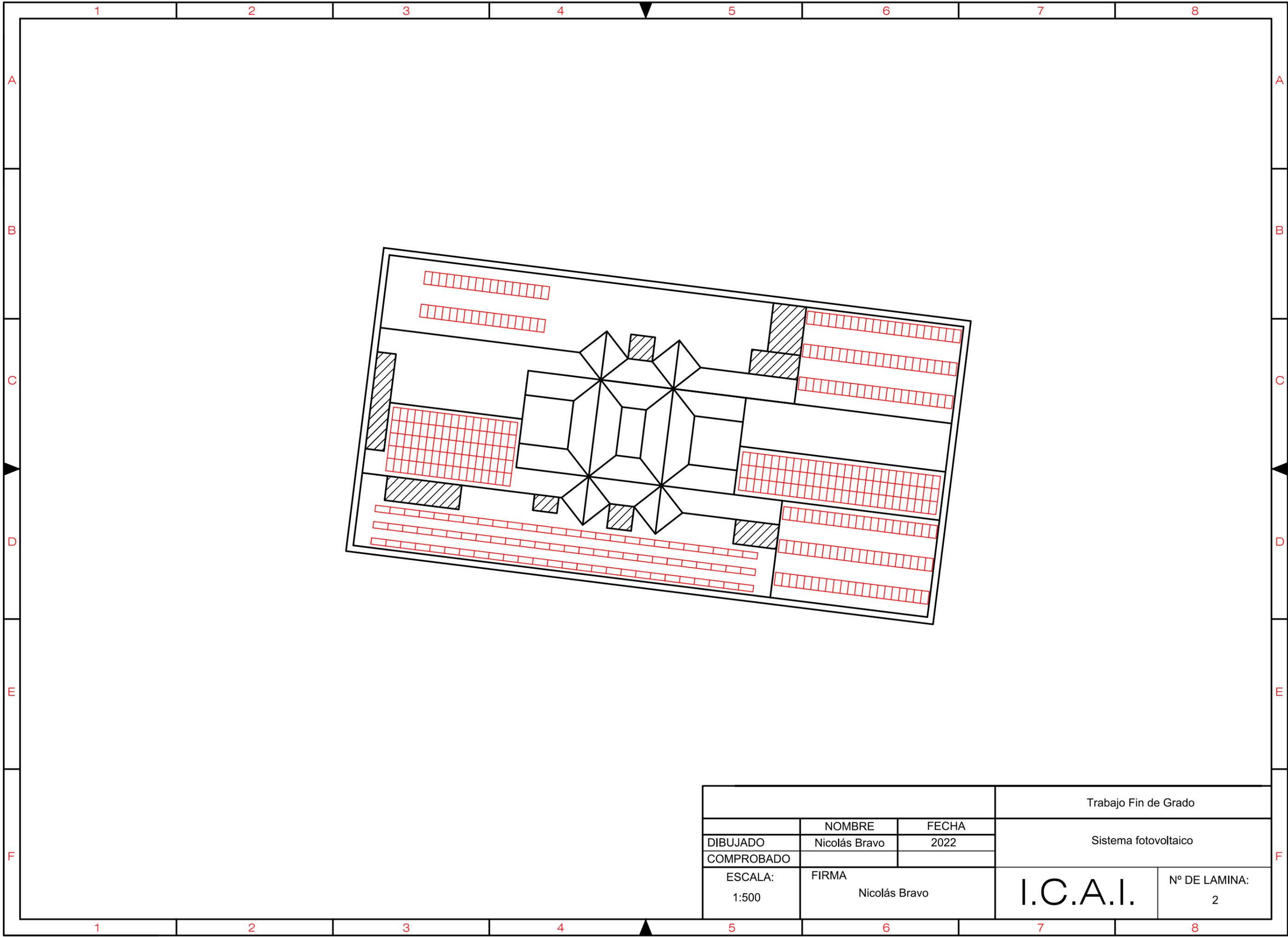
### **2.2 PLANOS**



			Trabajo Fin de Grado	
	NOMBRE	FECHA	Emplazamiento del Centro Comercial	
DIBUJADO	Nicolás Bravo	2022		
COMPROBADO			I.C.A.I.	
ESCALA:	FIRMA			
	Nicolás Bravo		1	

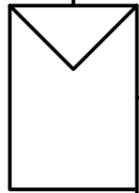


			Trabajo Fin de Grado	
	NOMBRE	FECHA	Vista en planta de la cubierta del centro comercial	
DIBUJADO	Nicolás Bravo	2022		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:500	FIRMA Nicolás Bravo		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 2



			Trabajo Fin de Grado	
	NOMBRE	FECHA	Sistema fotovoltaico	
DIBUJADO	Nicolás Bravo	2022		
COMPROBADO			I.C.A.I.	
ESCALA: 1:500	FIRMA Nicolás Bravo			

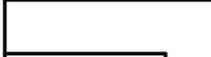
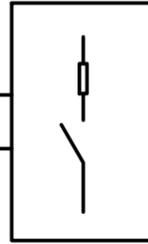
Paneles Solares



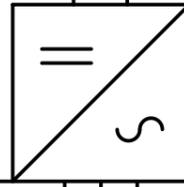
Caja Conexión



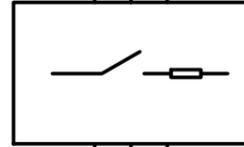
Caja Protecciones CC



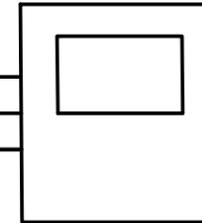
Inversor



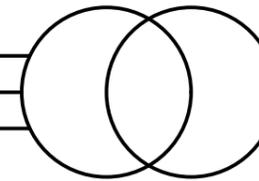
Caja Protecciones CA



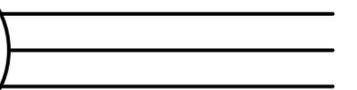
Equipo de medida



Centro Transformación



RED



			Trabajo Fin de Grado	
	NOMBRE	FECHA	Esquema instalación fotovoltaica	
DIBUJADO	Nicolás Bravo	2022		
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA	I.C.A.I.		Nº DE LAMINA:
	Nicolás Bravo			2

## **Documento 3. Pliego de condiciones**

### **3.1 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y PARTICULARES**

#### **COMPONENTES Y MATERIALES**

##### Generalidades:

Como principio general se ha de asegurar, como mínimo, un grado de aislamiento eléctrico de tipo básico clase I en lo que afecta tanto a equipos (módulos e inversores), como a materiales (conductores, cajas y armarios de conexión), exceptuando el cableado de continua, que será de doble aislamiento de clase 2 y un grado de protección mínimo de IP65.

La instalación incorporará todos los elementos y características necesarios para garantizar en todo momento la calidad del suministro eléctrico.

El funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas no deberá provocar en la red averías, disminuciones de las condiciones de seguridad ni alteraciones superiores a las admitidas por la normativa que resulte aplicable.

Asimismo, el funcionamiento de estas instalaciones no podrá dar origen a condiciones peligrosas de trabajo para el personal de mantenimiento y explotación de la red de distribución.

Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.

Se incluirán todos los elementos necesarios de seguridad y protecciones propias de las personas y de la instalación fotovoltaica, asegurando la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como otros elementos y protecciones que resulten de la aplicación de la legislación vigente.

En la Memoria de Diseño o Proyecto se incluirán las fotocopias de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante de todos los componentes.

Por motivos de seguridad y operación de los equipos, los indicadores, etiquetas, etc. de los mismos estarán en castellano y además, si procede, en alguna de las lenguas españolas oficiales del lugar de la instalación.

##### Módulos fotovoltaicos:

Los módulos fotovoltaicos deberán incorporar el marcado CE, según la Directiva 2006/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión. Además, deberán cumplir la norma UNE-EN 61730, armonizada para la Directiva 2006/95/CE, sobre cualificación de la seguridad de módulos fotovoltaicos, y la norma UNE-EN 50380, sobre informaciones

de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos. Adicionalmente, deberá satisfacer la normativa UNE-EN 61215 para módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para uso terrestre.

El módulo fotovoltaico llevará de forma claramente visible e indeleble el modelo y nombre o logotipo del fabricante, así como una identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación.

Se utilizarán módulos que se ajusten a las características técnicas descritas a continuación.

Los módulos deberán llevar los diodos de derivación para evitar las posibles averías de las células y sus circuitos por sombreados parciales y tendrán un grado de protección IP65. Los marcos laterales, si existen, serán de aluminio o acero inoxidable.

Para que un módulo resulte aceptable, su potencia máxima y corriente de cortocircuito reales referidas a condiciones estándar deberán estar comprendidas en el margen del  $\pm 3\%$  de los correspondientes valores nominales de catálogo.

Será rechazado cualquier módulo que presente defectos de fabricación como roturas o manchas en cualquiera de sus elementos, así como falta de alineación en las células o burbujas en el encapsulante.

Será deseable una alta eficiencia de las células.

La estructura del generador se conectará a tierra.

Por motivos de seguridad y para facilitar el mantenimiento y reparación del generador, se instalarán los elementos necesarios (fusibles, interruptores, etc.) para la desconexión, de forma independiente y en ambos terminales, de cada una de las ramas del resto del generador.

Los módulos fotovoltaicos estarán garantizados por el fabricante durante un período mínimo de 10 años y contarán con una garantía de rendimiento durante 25 años.

#### Estructura soporte:

Las estructuras soporte deberán cumplir las especificaciones de este apartado. En todos los casos se dará cumplimiento a lo obligado en el Código Técnico de la Edificación respecto a seguridad.

La estructura soporte de módulos ha de resistir, con los módulos instalados, las sobrecargas del viento y nieve, de acuerdo con lo indicado en el Código Técnico de la edificación y demás normativa de aplicación.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de módulos, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos, siguiendo las indicaciones del fabricante.

Los puntos de sujeción para el módulo fotovoltaico serán suficientes en número, teniendo en cuenta el área de apoyo y posición relativa, de forma que no se produzcan flexiones en los módulos superiores a las permitidas por el fabricante y los métodos homologados para el modelo de módulo.

El diseño de la estructura se realizará para la orientación y el ángulo de inclinación especificado para el generador fotovoltaico, teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje, y la posible necesidad de sustituciones de elementos.

La estructura se protegerá superficialmente contra la acción de los agentes ambientales. La realización de taladros en la estructura se llevará a cabo antes de proceder, en su caso, al galvanizado o protección de la estructura.

La tornillería será realizada en acero inoxidable. En el caso de que la estructura sea galvanizada se admitirán tornillos galvanizados, exceptuando la sujeción de los módulos a la misma, que serán de acero inoxidable.

Los topes de sujeción de módulos y la propia estructura no arrojarán sombra sobre los módulos.

En el caso de instalaciones integradas en cubierta que hagan las veces de la cubierta del edificio, el diseño de la estructura y la estanquidad entre módulos se ajustará a las exigencias vigentes en materia de edificación.

Se dispondrán las estructuras soporte necesarias para montar los módulos, tanto sobre superficie plana (terracea) como integrados sobre tejado, cumpliendo lo especificado en el punto 4.1.2 sobre sombras. Se incluirán todos los accesorios y bancadas y/o anclajes.

La estructura soporte será calculada según la normativa vigente para soportar cargas extremas debidas a factores climatológicos adversos, tales como viento, nieve, etc.

Si está construida con perfiles de acero laminado conformado en frío, cumplirán las normas UNE-EN 10219-1 y UNE-EN 10219-2 para garantizar todas sus características mecánicas y de composición química.

Si es del tipo galvanizada en caliente, cumplirá las normas UNE-EN ISO 14713 (partes 1, 2 y 3) y UNE-EN ISO 10684 y los espesores cumplirán con los mínimos exigibles en la norma UNE-EN ISO 1461.

En el caso de utilizarse seguidores solares, estos incorporarán el marcado CE y cumplirán lo previsto en la Directiva 98/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio de 1998, relativa a la aproximación de legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas, y su normativa de desarrollo, así como la Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006 relativa a las máquinas.

#### Inversores:

Serán del tipo adecuado para la conexión a la red eléctrica, con una potencia de entrada variable para que sean capaces de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico puede proporcionar a lo largo de cada día.

Las características básicas de los inversores serán las siguientes:

- Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
- Autoconmutados.
- Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.
- No funcionarán en isla o modo aislado.

Los inversores cumplirán con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética (ambas serán certificadas por el fabricante), incorporando protecciones frente a:

- Cortocircuitos en alterna.
  - Tensión de red fuera de rango.
  - Frecuencia de red fuera de rango.
  - Sobretensiones, mediante varistores o similares.
  - Perturbaciones presentes en la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc.

Cada inversor dispondrá de las señalizaciones necesarias para su correcta operación, e incorporará los controles automáticos imprescindibles que aseguren su adecuada supervisión y manejo.

Cada inversor incorporará, al menos, los controles manuales siguientes:

- Encendido y apagado general del inversor.
- Conexión y desconexión del inversor a la interfaz CA.

Las características eléctricas de los inversores serán las siguientes:

El inversor seguirá entregando potencia a la red de forma continuada en condiciones de irradiancia solar un 10 % superiores a las CEM. Además soportará picos de un 30 % superior a las CEM durante períodos de hasta 10 segundos.

El rendimiento de potencia del inversor (cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada), para una potencia de salida en corriente alterna igual al 50 % y al 100 % de la potencia nominal, será como mínimo del 92 % y del 94 % respectivamente. El cálculo del rendimiento se realizará de acuerdo con la norma UNE-EN 6168: Sistemas fotovoltaicos. Acondicionadores de potencia. Procedimiento para la medida del rendimiento.

El autoconsumo de los equipos (pérdidas en “vacío”) en “stand-by” o modo nocturno deberá ser inferior al 2 % de su potencia nominal de salida.

El factor de potencia de la potencia generada deberá ser superior a 0,95, entre el 25 % y el 100 % de la potencia nominal.

A partir de potencias mayores del 10 % de su potencia nominal, el inversor deberá inyectar en red.

Los inversores tendrán un grado de protección mínima IP 20 para inversores en el interior de edificios y lugares inaccesibles, IP 30 para inversores en el interior de edificios y

lugares accesibles, y de IP 65 para inversores instalados a la intemperie. En cualquier caso, se cumplirá la legislación vigente.

Los inversores estarán garantizados para operación en las siguientes condiciones ambientales: entre 0 °C y 40 °C de temperatura y entre 0 % y 85 % de humedad relativa.

Los inversores para instalaciones fotovoltaicas estarán garantizados por el fabricante durante un período mínimo de 3 años.

#### Cableado:

Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán separados y protegidos de acuerdo a la normativa vigente.

Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5 %.

El cable deberá tener la longitud necesaria para no generar esfuerzos en los diversos elementos ni posibilidad de engancho por el tránsito normal de personas.

Todo el cableado de continua será de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, al aire o enterrado, de acuerdo con la norma UNE 21123.

#### Protecciones:

Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 11) sobre protecciones en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

En conexiones a la red trifásicas las protecciones para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (51 Hz y 49 Hz respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 Um y 0,85 Um respectivamente) serán para cada fase.

#### Puesta a tierra:

Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 12) sobre las condiciones de puesta a tierra en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

Cuando el aislamiento galvánico entre la red de distribución de baja tensión y el generador fotovoltaico no se realice mediante un transformador de aislamiento, se explicarán en la Memoria de Diseño o Proyecto los elementos utilizados para garantizar esta condición.

Todas las masas de la instalación fotovoltaica, tanto de la sección continua como de la alterna, estarán conectadas a una única tierra. Esta tierra será independiente de la del neutro de la empresa distribuidora, de acuerdo con el Reglamento de Baja Tensión.

### Conexión a red:

Todas las instalaciones de hasta 100 kW cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículos 8 y 9) sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

### Medidas de seguridad:

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 telemedida.

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. Los sistemas de teledesconexión y telemedida serán compatibles con la red de distribución a la que se conecta la central fotovoltaica, pudiendo utilizarse en baja tensión los sistemas de telegestión incluidos en los equipos de medida previstos por la legislación vigente.

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.

## **RECEPCIÓN Y PRUEBAS**

El instalador entregará al usuario un documento-albarán en el que conste el suministro de componentes, materiales y manuales de uso y mantenimiento de la instalación. Este documento será firmado por duplicado por ambas partes, conservando cada una un ejemplar. Los manuales entregados al usuario estarán en alguna de las lenguas oficiales españolas para facilitar su correcta interpretación.

Antes de la puesta en servicio de todos los elementos principales (módulos, inversores, contadores) éstos deberán haber superado las pruebas de funcionamiento en fábrica, de las que se levantará oportuna acta que se adjuntará con los certificados de calidad.

Las pruebas a realizar por el instalador, con independencia de lo indicado con anterioridad en este PCT, serán como mínimo las siguientes:

- Funcionamiento y puesta en marcha de todos los sistemas.
- Pruebas de arranque y parada en distintos instantes de funcionamiento.
- Pruebas de los elementos y medidas de protección, seguridad y alarma, así como su actuación, con excepción de las pruebas referidas al interruptor automático de la desconexión.
- Determinación de la potencia instalada, de acuerdo con el procedimiento descrito en el anexo I.

Concluidas las pruebas y la puesta en marcha se pasará a la fase de la Recepción Provisional de la Instalación. No obstante, el Acta de Recepción Provisional no se firmará hasta haber comprobado que todos los sistemas y elementos que forman parte del suministro han funcionado correctamente durante un mínimo de 240 horas seguidas, sin interrupciones o paradas causadas por fallos o errores del sistema suministrado, y además se hayan cumplido los siguientes requisitos:

Entrega de toda la documentación requerida en este PCT, y como mínimo la recogida en la norma UNE-EN 62466: Sistemas fotovoltaicos conectados a red. Requisitos mínimos de documentación, puesta en marcha e inspección de un sistema.

Retirada de obra de todo el material sobrante.

Limpieza de las zonas ocupadas, con transporte de todos los desechos a vertedero.

Durante este período el suministrador será el único responsable de la operación de los sistemas suministrados, si bien deberá adiestrar al personal de operación.

Todos los elementos suministrados, así como la instalación en su conjunto, estarán protegidos frente a defectos de fabricación, instalación o diseño por una garantía de tres años, salvo para los módulos fotovoltaicos, para los que la garantía mínima será de 10 años contados a partir de la fecha de la firma del acta de recepción provisional.

No obstante, el instalador quedará obligado a la reparación de los fallos de funcionamiento que se puedan producir si se apreciase que su origen procede de defectos ocultos de diseño, construcción, materiales o montaje, comprometiéndose a subsanarlos sin cargo alguno. En cualquier caso, deberá atenerse a lo establecido en la legislación vigente en cuanto a vicios ocultos.

## **MANTENIMIENTO**

### Generalidades:

Se realizará un contrato de mantenimiento preventivo y correctivo de al menos tres años.

El contrato de mantenimiento de la instalación incluirá todos los elementos de la misma, con las labores de mantenimiento preventivo aconsejados por los diferentes fabricantes.

Programa de mantenimiento:

El objeto de este apartado es definir las condiciones generales mínimas que deben seguirse para el adecuado mantenimiento de las instalaciones de energía solar fotovoltaica conectadas a red.

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

- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.

Plan de mantenimiento preventivo: operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma.

Plan de mantenimiento correctivo: todas las operaciones de sustitución necesarias para asegurar que el sistema funciona correctamente durante su vida útil. Incluye:

- La visita a la instalación en los plazos indicados y cada vez que el usuario lo requiera por avería grave en la misma.
- El análisis y elaboración del presupuesto de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación.
- Los costes económicos del mantenimiento correctivo, con el alcance indicado, forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Podrán no estar incluidas ni la mano de obra ni las reposiciones de equipos necesarias más allá del período de garantía.

El mantenimiento debe realizarse por personal técnico cualificado bajo la responsabilidad de la empresa instaladora.

El mantenimiento preventivo de la instalación incluirá, al menos, una visita (anual para el caso de instalaciones de potencia de hasta 100 kWp y semestral para el resto) en la que se realizarán las siguientes actividades:

- Comprobación de las protecciones eléctricas.
- Comprobación del estado de los módulos: comprobación de la situación respecto al proyecto original y verificación del estado de las conexiones.
- Comprobación del estado del inversor: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc.
- Comprobación del estado mecánico de cables y terminales (incluyendo cables de tomas de tierra y reapriete de bornas), pletinas, transformadores, ventiladores/extractores, uniones, reaprietes, limpieza.

Realización de un informe técnico de cada una de las visitas, en el que se refleje el estado de las instalaciones y las incidencias acaecidas.

Registro de las operaciones de mantenimiento realizadas en un libro de mantenimiento, en el que constará la identificación del personal de mantenimiento (nombre, titulación y autorización de la empresa).

## Documento 4. Presupuesto

### 4.1 PRESUPUESTO GENERAL

Presupuesto			
Elemento	Unidades	Precio unitario	Precio Total (€)
Módulos fotovoltaicos Modelo: <i>SR-72M550HLPro</i>	404	258 €/módulo	104.232
Inversor Modelo: <i>SUN2000-215KTL-H0</i>	1	7.041,62 €/inversor	7.041,62
Estructura Soporte Modelo: <i>01V Sunfields</i>	3x tres módulos 33x cuatro módulos 5x cinco módulos	88 €/soporte 117€/soporte 141€/soporte	4.830
Estructura Soporte Modelo: <i>09V Sunfields</i>	30x cuatro módulos 8x cinco módulos	164€/soporte 212€/soporte	6.616
Estructura Soporte Modelo: <i>09H Sunfields</i>	3x dos módulos 24x tres módulos	126€/soporte 185/soporte	4.818
Caja de conexión	1	800€/unidad	800
Cableado AC (95 mm <sup>2</sup> )	150 m	7,55 €/m	1.132
Cableado DC (6 mm <sup>2</sup> )	600 m	0,97 €/m	582
Protecciones Generales	1	950 €/unidad	950
Puesta a Tierra	1	625 €/unidad	625
Mano de obra	1	30.000€/unidad	30.000
Puesta en marcha	1	1.000€/unidad	1.000
<b>SUBTOTAL</b>			<b>152.772,62</b>
Impuestos (21%)			32.649,25
<b>TOTAL</b>			<b>188.121,87</b>