



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AHORRO ECONÓMICO EN UN EDIFICIO RESIDENCIAL CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Carlos Palencia Poblet

Director: Luis Javier Mata

Madrid

Junio 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Eficiencia energética y ahorro económico en un edificio residencial con energías
renovables

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 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.: Carlos Palencia Poblet

Fecha: 24/06/2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Luis Javier Mata

Fecha://



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AHORRO ECONÓMICO EN UN EDIFICIO RESIDENCIAL CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Carlos Palencia Poblet

Director: Luis Javier Mata

Madrid

Junio 2024

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AHORRO ECONÓMICO DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Palencia Poblet, Carlos.

Director: Mata, Luis Javier.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto se basa en el análisis sobre la implementación de un sistema de energía renovable en un edificio en la localidad de Barcelona. Se ha realizado un análisis técnico en el que se han estudiado posibles configuraciones a implementar en la instalación. El principal objetivo de este proyecto es el abastecimiento del 75% de la energía demanda en la vivienda. Así como lograr un ahorro económico en las facturas de esta y la reducción de emisiones de gases nocivos para el planeta.

Palabras clave: Energía renovable, panel fotovoltaico, inversor, autoconsumo

1. Introducción

El mundo está pasando por un cambio en cuanto al uso de la energía. Como bien se sabe, el uso de energías no renovables ha sido el único candidato durante gran parte de nuestra historia. Combustibles como el carbón, el gas natural o el petróleo han sido los encargados de mantener nuestra industria y nuestros consumos energéticos. Sin embargo, debido a los efectos secundarios de dichos combustibles, como puede ser el calentamiento global, la deforestación o el problema con los residuos energéticos de las plantas nucleares, se han potenciado diferentes tecnologías de energía renovable, como son la energía eólica, la energía geotérmica o la energía solar.

Gracias a la evolución de dichas tecnologías, se ha conseguido que sean mucho más eficientes que en sus inicios, por lo que son de gran importancia para los proyectos que se pueden llevar a cabo, reduciendo mucho sus costes. Como consecuencia de utilizar instalaciones de energías renovables, se favorece al medio ambiente y a la sostenibilidad, además de ofrecer la posibilidad de un ahorro económico.

En este proyecto se estudia la viabilidad de una instalación fotovoltaica que se construirá en la Villa Olímpica de Barcelona, en la calle Avenida Icària 133, 08015. El edificio cuenta con 25 pisos residenciales.

2. Definición del Proyecto

Para la elaboración del proyecto, se ha hecho un análisis de las posibles energías renovables que se pueden emplear en la instalación. Finalmente, se ha tomado la decisión de la instalación de un sistema fotovoltaico. Para ello se ha realizado un estudio del consumo de la vivienda y de los componentes que componen dicha instalación.

Este proyecto también tiene el objetivo de conseguir un ahorro económico en el edificio. Por lo que, esto también ha sido un factor a tener en cuenta en la selección de dichos componentes. Además, se han tenido en cuenta tanto la normativa de una instalación fotovoltaica como las medidas de seguridad y salud de esta.

3. Descripción del modelo

Al realizar este proyecto, se ha tomado la decisión de abastecer un 75% de la energía demandada por el edificio. Para ello se ha tenido en cuenta el consumo total de las 25 viviendas a lo largo de un año. Para realizar el cálculo de la potencia necesaria de la instalación se han utilizado los datos de horas de Sol en la zona de Barcelona. Así pues, la instalación deberá tener una potencia de 20202,54 W.

Tras el estudio de los componentes de la instalación, se ha optado por la siguiente configuración:

- 160 módulos (10 en paralelo, 16 en serie): STM220 F, 220W, Monocristalino, *SunTechnics*
- Inversor: INVERSOR III, 30 kW, *Enertron*
- Medidor bidireccional
- Soportes: Triangulares, Aluminio, 30° - 45°
- Cableado

En la siguiente imagen se muestra el esquema unifilar de la instalación escogida:

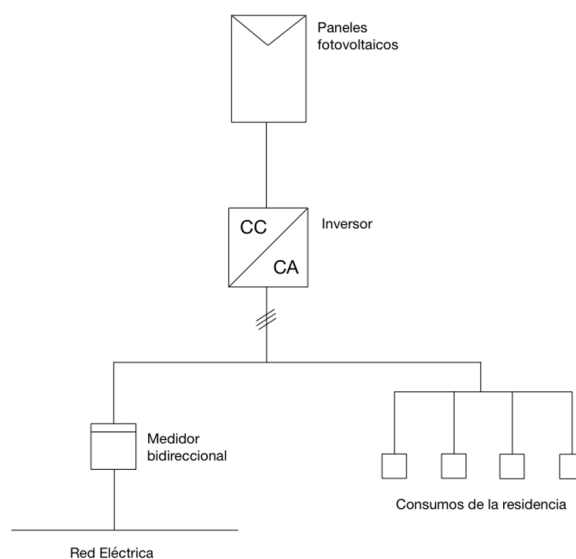


Figura 1 Esquema unifilar de la instalación

4. Resultados

A continuación, para comprobar que se cubre el 75% de la demanda, se han realizado los cálculos del rendimiento de la instalación teniendo en cuenta las posibles pérdidas, como son las pérdidas de inclinación y orientación de los módulos, las pérdidas por obstrucción, las pérdidas por sombras, las pérdidas por temperatura, las pérdidas del inversor (4,51%), las pérdidas del cableado, las pérdidas de la potencia nominal y las pérdidas de los módulos. Obteniendo por lo tanto un rendimiento de la instalación del 83,44%. Así pues, se abastecería un 75,54% de la demanda.

A continuación se representa la producción de energía del sistema fotovoltaico a lo largo de un año, a partir del cual se han realizado los cálculos anteriores:

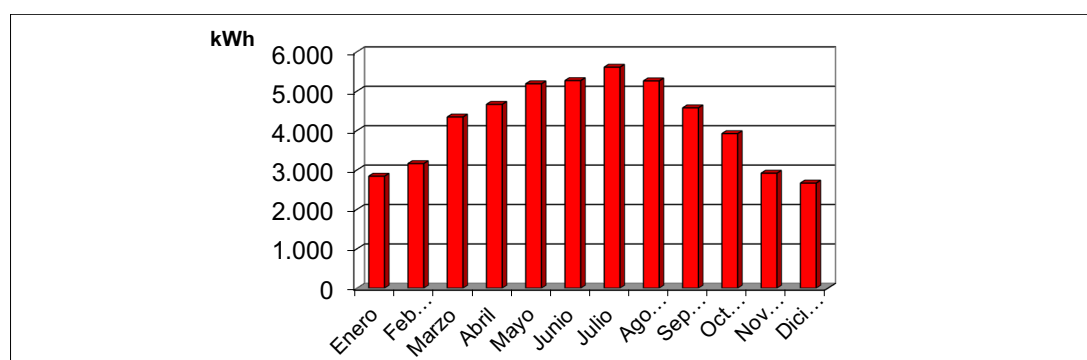


Figura 2 Producción de energía de la instalación a lo largo de un año

Para finalizar, se ha hecho un estudio económico donde se han tenido en cuentas los costes de la inversión inicial, los costes anuales, los ingresos anuales y la rentabilidad del proyecto. Este estudio se ha realizado a lo largo de 25 años, ya que coincide con la vida útil de los módulos. De esta forma, se ha llegado a un proyecto que recupera su inversión inicial en el quinto año, con un VAN de 178865€ y un TIR del 23%.

5. Conclusiones

Después del estudio de la instalación fotovoltaica y de los resultados obtenidos, se puede decir que el proyecto es rentable. Tanto el estudio técnico de la instalación como el económico han resultado ser viables, consiguiendo un retorno total de la inversión inicial en el quinto año, por lo que se puede asegurar que el proyecto obtiene beneficios. Además, se ha comprobado que se abastece el 75% de la demanda del edificio, cumpliendo con el principal objetivo del proyecto, promoviendo así el uso de energías renovables.

ENERGY EFFICIENCY AND ECONOMIC SAVINGS OF A RESIDENTIAL BUILDING WITH RENEWABLE ENERGY

Author: Palencia Poblet, Carlos.

Supervisor: Mata, Luis Javier.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project is based on the analysis of the implementation of a renewable energy system in a building in the town of Barcelona. A technical analysis has been carried out in which possible configurations to be implemented in the installation have been studied. The main objective of this project is to supply 75% of the energy demanded in the home. As well as achieving economic savings on its bills and the reduction of emissions of harmful gases for the planet.

Keywords: Renewable energy, photovoltaic panel, inverter, self-consumption

1. Introduction

The world is going through a change in energy use. As is well known, the use of non-renewable energy has been the only candidate for much of our history. Fuels such as coal, natural gas or oil have been responsible for maintaining our industry and our energy consumption. However, due to the side effects of these fuels, such as global warming, deforestation or the problem with energy waste from nuclear plants, different renewable energy technologies have been promoted, such as wind energy, geothermal or solar energy.

Thanks to the evolution of these technologies, they have been made much more efficient than in their beginnings, which is why they are of great importance for the projects that can be carried out, greatly reducing their costs. As a result of using renewable energy facilities, the environment and sustainability are favored, in addition to offering the possibility of economic savings.

This project studies the feasibility of a photovoltaic installation that will be built in the Olympic Village of Barcelona, on Avenida Icària 133, 08015. The building has 25 residential floors.

2. Project definition

To prepare the project, an analysis has been made of the possible renewable energies that can be used in the installation. Finally, the decision has been made to install a photovoltaic system. For this purpose, a study has been carried out on the consumption of the home and the components that make up said installation.

This project also has the objective of achieving economic savings in the building. Therefore, this has also been a factor to take into account when selecting these components. In addition, both the regulations for a photovoltaic installation and its health and safety measures have been taken into account.

3. Model description

When carrying out this project, the decision was made to supply 75% of the energy demanded by the building. To do this, the total consumption of the 25 homes over the course of a year has been taken into account. To calculate the necessary power of the installation, data on hours of sunshine in the Barcelona area have been used. Thus, the installation must have a power of 20202.54 W.

After studying the installation components, the following configuration was chosen:

- 160 modules (10 in parallel, 16 in series): STM220 F, 220W, Monocrystalline, SunTechnics
- Inverter: INVERTER III, 30 kW, Enertron
- Bidirectional meter
- Supports: Triangular, Aluminum, 30° - 45°
- Wiring

The following image shows the single-line diagram of the chosen installation:

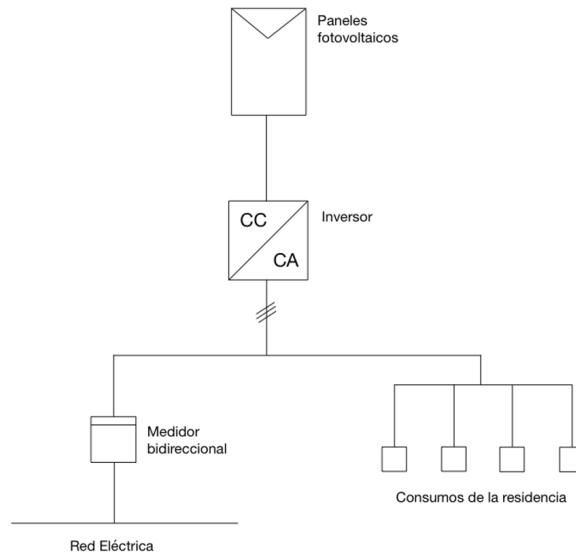


Figure 1 Unifilar scheme of the photovoltaic installation

4. Results

Next, to verify that 75% of the demand is covered, calculations of the installation's performance have been carried out taking into account possible losses, such as inclination and orientation losses of the modules, obstruction losses, shadow losses, temperature losses, inverter losses (4.51%), wiring losses, nominal power losses and module losses. Therefore obtaining an installation performance of 83.44%. Thus, 75.54% of the demand would be supplied.

The energy production of the photovoltaic system is represented below. one year, from which the previous calculations have been made:

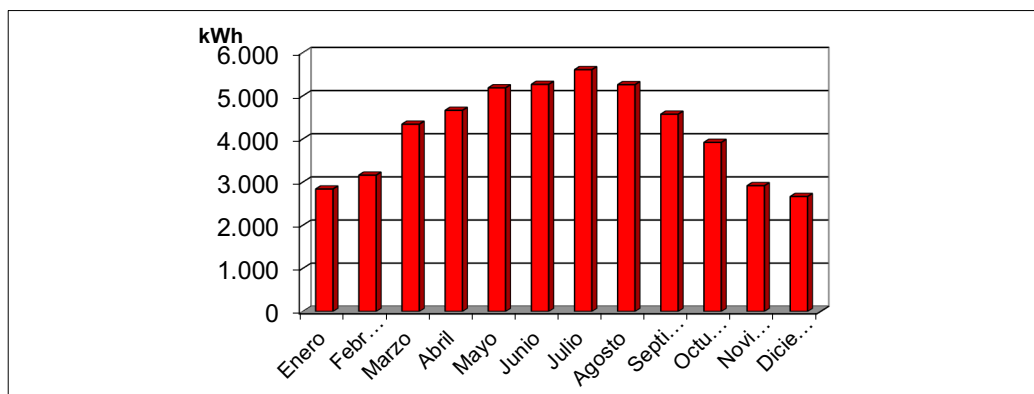


Figure 2 Energy production of the photovoltaic installation along 1 year

Finally, an economic study has been carried out where the initial investment costs, annual costs, annual income and profitability of the project have been taken into account. This study has been carried out over 25 years, since it coincides with the useful life of the modules. In this way, a project has been reached that recovers its initial investment in the fifth year, with an NPV of €178,865 and an IRR of 23%.

5. Conclusions

After studying the photovoltaic installation and the results obtained, it can be said that the project is profitable. Both the technical study of the installation and the economic study have turned out to be viable, achieving a full return of initial investment in the fifth year, so it can be assured that the project obtains benefits. In addition, it has been proven that 75% of the building's demand is supplied, meeting the main objective of the project, promoting the use of renewable energy.

Índice de la memoria

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	7
Capítulo 2. MOTIVACIÓN.....	9
Capítulo 3. ESTADO DEL ARTE	11
3.1 DIFERENTES TIPOS DE ENERGÍA RENOVABLE	11
3.1.1 ENERGÍA EÓLICA	11
3.1.2 ENERGÍA HIDRÁULICA.....	13
3.1.3 ENERGÍA DE BIOMASA	14
3.1.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA	15
3.1.5 ENERGÍA SOLAR	16
Capítulo 4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
4.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	19
4.2 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	21
4.2.1 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED.....	21
4.2.2 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA.....	22
4.2.3 PANELES FOTOVOLTAICOS	24
4.2.4 INVERSORES	31
4.2.5 SOPORTES DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	34
4.2.6 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.....	35
4.2.7 CONTADOR BIDIRECCIONAL O “METER”	38
4.3 NORMATIVA DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	39
Capítulo 5. OBJETIVOS DEL PROYECTO	41
5.1 OBJETIVOS.....	41
5.2 ALINEACIÓN CON LOS ODS.....	42
Capítulo 6. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	43
6.1 EMPLAZAMIENTO	43
6.2 PLANO DE LA CUBIERTA.....	43
6.3 CONSUMOS DEL EDIFICIO	46
Capítulo 7. ESQUEMA BÁSICO DE LA INSTALACIÓN	47
7.1 POTENCIA DE LA INSTALACIÓN	47
7.2 ORIENTACIÓN DE LOS MÓDULOS.....	50

7.3 ELECCIÓN DE MÓDULO	53
7.4 ELECCIÓN DEL INVERSOR.....	58
7.5 SOPORTES	59
7.6 SEPARACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	60
7.7 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE LA INSTALACIÓN.....	62
7.8 DISPOSICIÓN DE LOS MÓDULOS.....	69
7.9 PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN	71
Capítulo 8. ESTUDIO ECONÓMICO.....	74
8.1 INVERSIÓN INICIAL TOTAL	74
8.1.1 COSTE DE LOS COMPONENTES	74
8.1.2 COSTE DE LOS PERMISOS	75
8.1.3 BONIFICACIONES.....	75
8.1.4 COSTE INICIAL TOTAL	76
8.2 COSTES ANUALES	76
8.3 INGRESOS ANUALES	77
8.4 RENTABILIDAD	79
8.4.1 VAN.....	80
8.4.2 TIR	81
Capítulo 9. Seguridad y salud.....	82
REFERENCIAS	83
ANEXOS	88

Índice de figuras

Figura 1 Evolución del Mix Energético [1]	7
Figura 2 Representación de una instalación para un sistema de energía eólica [2]	12
Figura 3 Representación de la instalación de una represa hidroeléctrica [3]	13
Figura 4 Representación de la instalación de un sistema de energía de biomasa [4]	14
Figura 5 Representación de la instalación de un sistema de energía geotérmica [5]	15
Figura 6 Representación de la instalación de un sistema de energía solar [6]	17
Figura 7 Representación de la instalación de un sistema termoeléctrico [7]	18
Figura 8 Representación del silicio reforzado [9]	20
Figura 9 Representación gráfica del proceso de la conversión energética en los paneles [10]	20
Figura 10 Esquema del funcionamiento de un sistema de paneles fotovoltaicos [11]	22
Figura 11 Esquema de la instalación de un sistema fotovoltaico aislado [12]	23
Figura 12 Imagen de un panel fotovoltaico monocristalino [15]	24
Figura 13 Imagen de un panel fotovoltaico policristalino [17]	25
Figura 14 Imagen de un panel fotovoltaico amorfo [18]	26
Figura 15 Componentes de un panel fotovoltaico [20]	27
Figura 16 Representación paneles fotovoltaicos en serie [22]	28
Figura 17 Representación conexión paneles fotovoltaicos en paralelo [22]	29
Figura 18 Representación conexión mixta de paneles fotovoltaicos [23]	30
Figura 19 Imagen de un micro inversor [25]	31
Figura 20 Imagen de un inversor string [26]	32
Figura 21 Diferencia entre ambos inversores ante un fallo [27]	32
Figura 22 Imagen de un inversor central [28]	33
Figura 23 Soporte de inclinación variable [29]	
Figura 24 Soporte de inclinación fija [30]	34
Figura 25 Imagen de una batería monobloque [32]	35
Figura 26 Imagen baterías estacionarias [33]	36
Figura 27 Imagen de una batería de litio [34]	37
Figura 28 Imagen de un contador bidireccional [35]	38
Figura 29 Esquema básico de instalación fotovoltaica conectada a red [36]	38

Figura 30 Plano de la cubierta del edificio a estudiar	44
Figura 31 Vista aérea del edificio	45
Figura 32 Mapa de radiación solar en España [38].....	48
Figura 33 Representación ángulo azimut [39]	50
Figura 34 Ángulo de inclinación del panel [40]	50
Figura 35 Variación del rendimiento del panel según su orientación [41]	51
Figura 36 Características eléctricas del modelo escogido	56
Figura 37 Características físicas del modelo escogido	56
Figura 38 Características eléctricas del inversor escogido	58
Figura 39 Imagen de un soporte triangular de inclinación variable [42]	59
Figura 40 Vista de perfil de un panel fotovoltaico [44]	60
Figura 41 Esquema para el cálculo del espacio necesario para el sistema fotovoltaico [45] ..	61
Figura 42 Aprovechamiento solar según el ángulo de inclinación y del ángulo de azimut [48]	62
Figura 43 Mapa de la calidad del aire en España [49]	64
Figura 44 Diagrama de la trayectoria solar [47]	64
Figura 45 Tabla de valores de las pérdidas según la inclinación del panel [47].....	65
Figura 46 Configuración final de la instalación fotovoltaica.....	69
Figura 47 Producción [kWh/mes] del sistema fotovoltaico.....	71

Índice de tablas

Tabla 1 Consumos mensuales del edificio (Elaboración propia).....	46
Tabla 2 Características eléctricas de los distintos paneles fotovoltaicos monocristalinos (Elaboración propia)	54
Tabla 3 Características físicas de los distintos paneles fotovoltaicos monocristalinos (Elaboración propia)	55
Tabla 4 Características eléctricas de los paneles con menor coeficiente de temperatura (Elaboración propia)	56
Tabla 5 Características eléctricas de los distintos inversores (Elaboración propia)	58
Tabla 6 Promedio de temperaturas en Barcelona a lo largo de un año (Elaboración propia).66	
Tabla 7 Radiación solar en Barcelona a lo largo de los meses (Elaboración propia).....	72
Tabla 8 Producción total anual de energía (Elaboración propia).....	72
Tabla 9 Coste de los componentes de la instalación (Elaboración propia).....	74
Tabla 10 Coste de los permisos de la instalación (Elaboración propia)	75
Tabla 11 Bonificaciones (Elaboración propia)	75
Tabla 12 Costes anuales de la instalación (Elaboración propia).....	76
Tabla 13 Consumo mensual y anual de la vivienda de estudio (Elaboración propia).....	77
Tabla 14 Estimación del consumo de la zona común de la vivienda (Elaboración propia)	78
Tabla 15 Consumo total de la vivienda (Elaboración propia)	78
Tabla 16 Flujo de caja en un periodo de 25 años (Elaboración propia)	79
Tabla 17 Análisis de sensibilidad VAN según el % de energía sustituido (Elaboración propia)	80
Tabla 18 Análisis de sensibilidad TIR (Elaboración propia).....	81

Índice de ecuaciones

Ecuación 1.....	47
Ecuación 2.....	48
Ecuación 3.....	49
Ecuación 4.....	51
Ecuación 5.....	51
Ecuación 6.....	52
Ecuación 7.....	57
Ecuación 8.....	60
Ecuación 9.....	60
Ecuación 10.....	61
Ecuación 11.....	61
Ecuación 12.....	61
Ecuación 13.....	63
Ecuación 14.....	63
Ecuación 15.....	66
Ecuación 16.....	66
Ecuación 17.....	66
Ecuación 18.....	67
Ecuación 19.....	67
Ecuación 20.....	68
Ecuación 21.....	71
Ecuación 22.....	73
Ecuación 23.....	76
Ecuación 24.....	78
Ecuación 25.....	80
Ecuación 26.....	80
Ecuación 27.....	81
Ecuación 28.....	81

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se va a estudiar la viabilidad energética y económica del uso de energías renovables para cubrir el consumo de un edificio residencial en Barcelona, concretamente en la zona portuaria. Para este proyecto, se van a implementar placas fotovoltaicas como fuente de energía renovable. Con el objetivo de conseguir la mejor opción posible, se hará un estudio de las distintas tecnologías existentes hoy en día en el mercado, para así poder obtener un resultado viable y rentable.

Hoy en día las energías renovables están teniendo un protagonismo más que notable. Como bien se sabe, durante décadas, el uso de energías no renovables ha sido prácticamente la única opción para cubrir las necesidades del ser humano. Esto ha provocado que la sostenibilidad del planeta se vea gravemente amenazada, debido a grandes emisiones de CO₂ u otros gases de efecto invernadero, deforestaciones alrededor de todo el mundo o residuos energéticos (como los de la energía nuclear, que perduran en el tiempo durante cientos de años). Con el fin de acabar con el cambio climático, o intentar frenarlo, se ha recurrido al uso de energías renovables, las cuales no emiten ningún tipo de residuo.

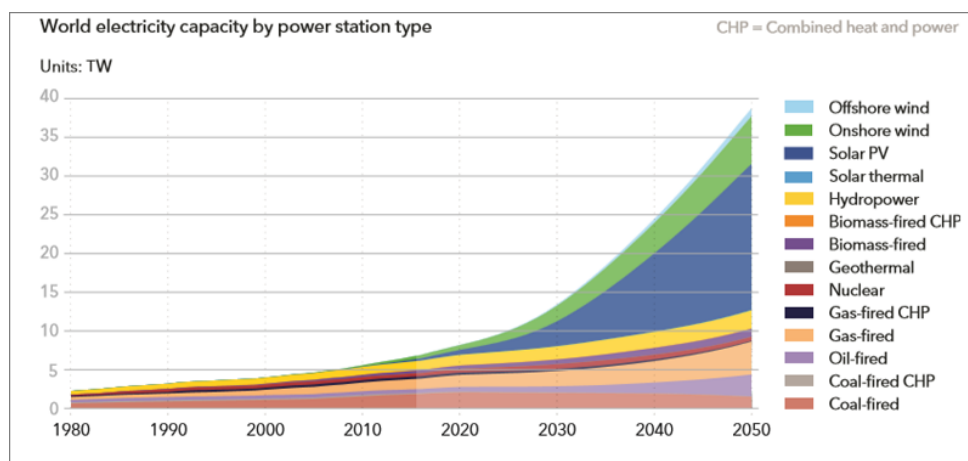


Figura 1 Evolución del Mix Energético [1]

Las energías renovables son una fuente energética muy prometedora, y con recursos prácticamente ilimitados (luz solar, viento, agua, calor...), lo cual no se puede decir lo mismo de las energías no renovables, ya que requiere de recursos (gas natural o petróleo) que son limitados, y poco a poco se van agotando sus reservas, produciendo crisis económicas y sobre todo energéticas. A parte, la contaminación por parte de las energías renovables al lado de la contaminación de energías no renovables es prácticamente nula, siendo una gran característica para tener en cuenta a la hora de hablar sobre sostenibilidad.

Gracias a esta tecnología, se desarrollará un estudio realista a partir de datos numéricos, con la finalidad de obtener un modelo realista y viable, y demostrar el gran peso de las energías renovables (concretamente los paneles fotovoltaicos) y de la importancia que tienen de cara al futuro.

Capítulo 2. MOTIVACIÓN

A la hora de escoger mi TFG, tuve en cuenta tres aspectos que marcan mi formación y hacia donde me quiero dirigir en mi vida profesional.

Primero, se trata del proyecto de ingeniería en sí, ya que es la oportunidad de aplicar todo lo que he aprendido y más durante mi grado en Ingeniería Industrial. En tercero de carrera tuve que escoger la especialidad en la que quería formarme: Mecánica, Eléctrica y Electrónica. Debido a mi gran interés por asignaturas que cursaría si escogiera la rama Eléctrica, como por ejemplo Instrumentación Eléctrica, Centrales y Subestaciones Eléctricas o Sistemas de Energía Eléctrica, decidí decantarme por ella. Creo que es una oportunidad única hacer mi TFG sobre la eficiencia energética de una vivienda, concretamente con paneles fotovoltaicos, ya que está inmensamente relacionado con lo que he podido estudiar durante estos últimos años.

Segundo, la parte económica del proyecto, la cual tengo muchas ganas de elaborar. Dado que en la Universidad no hemos profundizado mucho en áreas como la Economía, las Finanzas o Gestión Empresarial, ha despertado en mí un interés particular el cual me hace querer saber cada vez más sobre este ámbito. Con este proyecto voy a ser capaz de ver la viabilidad económica del uso de dichas placas fotovoltaicas y si será rentable o no, dándome la oportunidad de expandir mis conocimientos sobre esta área que tanto me atrae, elaborando un proyecto real.

Y tercero, la sostenibilidad del proyecto. Nada me puede motivar más que elaborar un proyecto cuyo objetivo principal sea mejorar la sostenibilidad medioambiental, dejando de emitir tantos gases tan destructivos para nuestro ecosistema, como el CO₂ u otros gases de efecto invernadero.

Una motivación extra en el proyecto es el hecho de poder hacer un proyecto con el objetivo de mejorar algo, en mi caso la eficiencia energética y la rentabilidad del uso de paneles fotovoltaicos en una vivienda. Dado que es la vivienda de mi familia, siento que este trabajo es mucho más productivo, ya que puede ser de gran ayuda si se hace bien.

Las energías renovables son, a largo plazo, la fuente de energía principales del futuro. Como se ha comentado antes, se ha visto que las energías no renovables no son del todo sostenibles para el medioambiente, y además, sus recursos naturales son limitados. Esto hace que la tecnología que se usa para implementar energías renovables esté en auge. Tener la oportunidad de hacer un trabajo cuyo fondo ingenieril tenga una proyección en el futuro más que considerable, es un privilegio.

Capítulo 3. ESTADO DEL ARTE

Como bien dice el título de este proyecto, *Eficiencia energética y ahorro económico en un edificio residencial con energías renovables*, el objetivo principal es poder cubrir la demanda de una residencia en Barcelona con un tipo de energía renovable, por lo que a continuación, se hará un pequeño estudio de las diferentes posibilidades que existen y se escogerá una con la que se llevará a cabo el proyecto.

3.1 DIFERENTES TIPOS DE ENERGÍA RENOVABLE

En este apartado se van a estudiar los siguientes puntos:

- Energía eólica
- Energía hidráulica
- Energía de biomasa
- Energía geotérmica
- Energía solar

3.1.1 ENERGÍA EÓLICA

Es la energía que se aprovecha del viento, es decir, la que se consigue a partir de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica, para así poder generar energía eléctrica para cualquier otro uso. Para poder aprovechar dicha energía y poderla transformar en energía eléctrica y poder cubrir la demanda del edificio, es necesario un aerogenerador, que es el encargado de, mediante un accionamiento y una máquina síncrona, hacer esta conversión energética.

A la hora de estudiar si es la mejor opción o no para este proyecto, cabe destacar que no se trata de una fuente de energía demasiado continua o fiable, ya que depende de los momentos del día

donde haya viento. Puede haber un momento donde se precise de energía debido a la demanda, pero no haya generación de energía, y se tenga que obtener la gran mayoría de la red.

Otros grandes problemas de implementar energía eólica en el proyecto, es tanto el espacio como el ruido. Por el espacio, es evidente que en un edificio hay un espacio muy reducido y limitado. En el caso de Barcelona, la normativa establece que durante el día no se pueden superar los 65 dB y por la noche los 55 dB. Un aerogenerador produce un ruido de entre 35 y 45 dB a una distancia de aproximadamente 500 metros desde donde se mide. Al ser en una zona urbana donde la distancia entre edificios no supera los 50 metros, los más probable es que se superen dichos límites.

Finalmente, aunque no menos importante, el tema visual puede ser un punto en contra a la hora de tomar cualquier decisión.

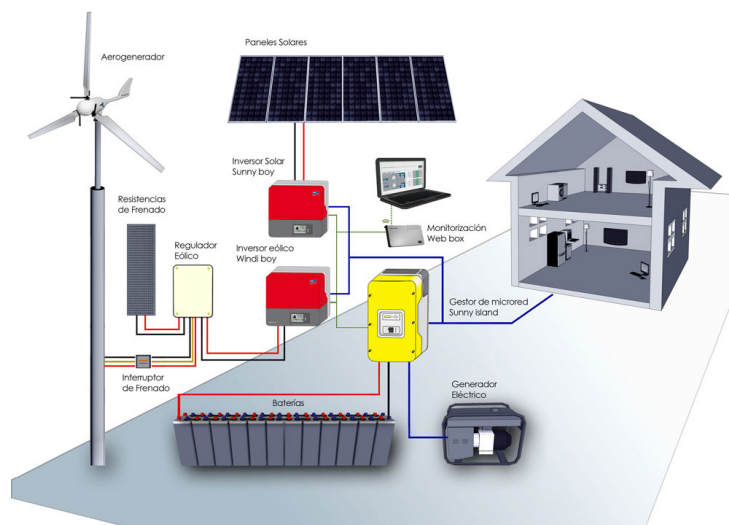


Figura 2 Representación de una instalación para un sistema de energía eólica [2]

Hoy en día la energía eólica está en auge, pero donde realmente se explota su rendimiento, es en grandes parques eólicos, que están contruidos en zonas donde se sabe que hay mucho viento. Estos sitios suelen estar alejados de la ciudad y están conectados a la red eléctrica. Es muy buena opción para el Mix-energético español, ya que no genera gases de efecto invernadero. Sin embargo, debido a las razones explicadas anteriormente, no se escogerá la fuente de energía eólica para abastecer la demanda del edificio en cuestión.

3.1.2 ENERGÍA HIDRÁULICA

La energía hidráulica es aquella que aprovecha la energía cinética y potencial del agua para obtener energía mecánica y posteriormente se transforma en energía eléctrica si se desea. Se puede conseguir a partir de ríos, donde se aprovecharía la energía cinética del agua, o desde embalses situados a diferentes alturas, donde la energía potencial del agua es la que aporta la energía resultante. Mediante un mecanismo de turbinas, se transforma dicha energía del agua en energía mecánica, haciendo girar la turbina.

Es una energía limpia en cuanto a la generación de gases de efecto invernadero, por lo que es una muy buena opción para el tema del calentamiento global. Sin embargo, es recalable que afecta mucho a la climatología y a la fauna de la zona donde se sitúa el embalse, ya que muchos de estos no son naturales, sino que se han establecido en zonas estratégicas donde es oportuno construir una presa.

En cuanto al proyecto, hacer uso de este tipo de energía renovable para cubrir la demanda del edificio no es del todo viable económicamente, ya que la construcción de las instalaciones es demasiado cara. El Mix-energético de España ya cuenta con centrales hidroeléctricas, que funcionan sobre todo para los picos de demanda, para poder aplanar la curva de demanda. Es un recurso muy valioso, ya que tiene poco tiempo de aplicación, el momento en el que se necesita energía, se abre la presa y se obtiene energía. Por otro lado, sería necesario tener cerca de la residencia un río capaz de aportar la suficiente energía cinética o un embalse suficientemente grande para cubrir toda la energía demandada. Por estas razones, el uso de este recurso para el proyecto es inviable.

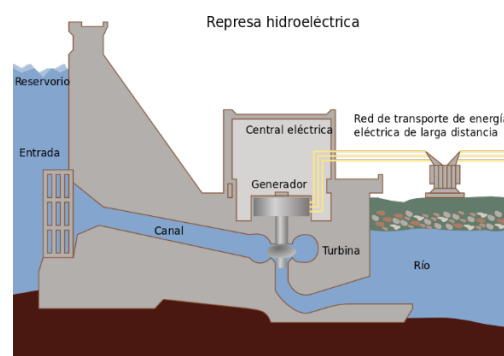


Figura 3 Representación de la instalación de una represa hidroeléctrica [3]

3.1.3 ENERGÍA DE BIOMASA

Es energía que se obtiene a partir de la combustión de materia orgánica. Los combustibles de este tipo de energía son, por ejemplo, excrementos animales, restos de la poda de los árboles o incluso algunos cereales. Es una energía con mucho potencial en España, a pesar de que solo represente el 1% de su Mix-energético.

Unos de los problemas que posee esta fuente de energía, es que se necesitaría un gran espacio de almacenaje para el combustible (además de un buen sistema de suministro de la materia para no quedarse sin ella) y también para las instalaciones en sí. Para poder generar energía en forma de electricidad o calor, son necesarias calderas o plantas industriales para poder llevar a cabo las diferentes reacciones térmicas.

Es una energía renovable y limpia. Aunque se base en la combustión de materiales, los niveles de carbono que desprende son ínfimos y no perjudica apenas al medio ambiente. El ruido, a parte, también podría llegar a ser molesto, por lo que teniendo en cuenta todo lo anterior, se descarta esta opción.

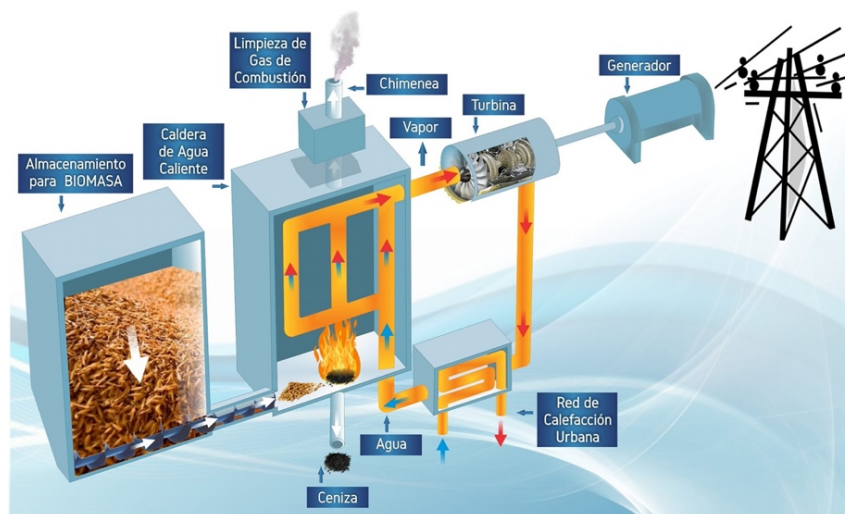


Figura 4 Representación de la instalación de un sistema de energía de biomasa [4]

3.1.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA

Esta energía se basa en aprovechar el mismo calor de la Tierra para obtener energía. Sus mayores ventajas son que es una energía renovable e ilimitada. Sin embargo, no todas las localizaciones son óptimas para aprovechar dicha energía, ya que depende directamente de las características de cada lugar. Para poder usar esta fuente de energía en el proyecto, sería necesario hacer un estudio del terreno donde se encuentra el edificio para ver si realmente se puede obtener la suficiente energía para cubrir la demanda requerida. En caso de que fuera posible, es necesario hacer perforaciones en el suelo de unos 15 cm de diámetro, para poder introducir tuberías con agua o líquido anticongelante, y que estos se calienten al pasar por las zonas calientes encontradas. A continuación se transformaría dicho calor en energía mediante una turbina. Este estudio ya aumenta mucho el presupuesto, además de los costes de la instalación, que incluyen, por ejemplo, los costes de la turbina y de las tuberías que se acaban de mencionar.

Como consecuencia, tanto por un tema económico, de espacio y de terreno, la opción de utilizar energía geotérmica para este proyecto queda descartada.

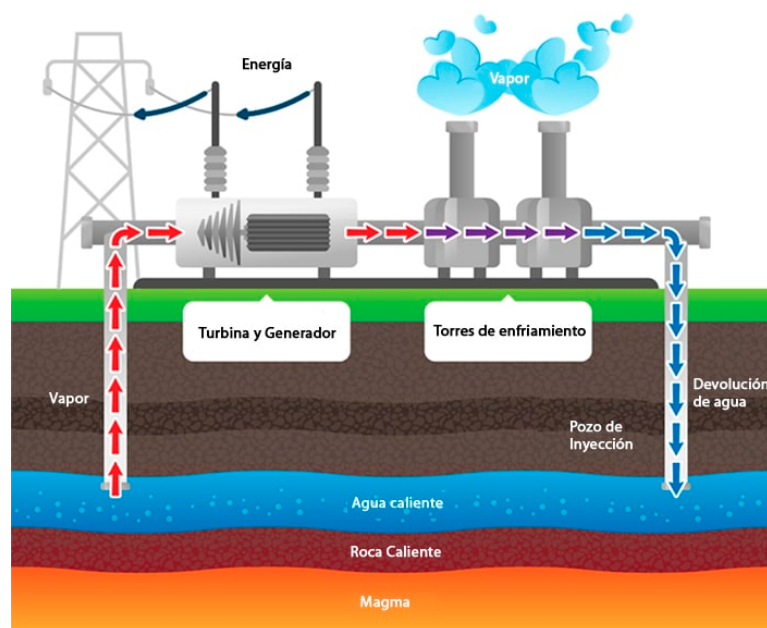


Figura 5 Representación de la instalación de un sistema de energía geotérmica [5]

3.1.5 ENERGÍA SOLAR

Existen diferentes tipos de energía solar, entre ellos, la energía solar fotovoltaica y la energía solar termoeléctrica.

La energía solar fotovoltaica se basa en aprovechar la luz solar en energía eléctrica, mediante paneles fotovoltaicos. Tiene ciertas ventajas muy importantes, como son el hecho de ser una energía renovable y no contaminante, o que sea muy versátil, ya que se puede hacer uso de esta energía a pequeña y gran escala (desde dispositivos más pequeños hasta grandes instalaciones). A medida que pasa el tiempo, esta tecnología va avanzando, y también sus costes se ven más reducidos.

Para este proyecto, se debe tener en cuenta la disponibilidad de dicha luz Solar, ya que sin ella no habría energía. Como el edificio se encuentra en Barcelona, en principio no debería haber ningún problema con la luz Solar. España es un país óptimo para el uso de este tipo de energía, ya que cuenta con un número muy elevado de horas de luz.

En cuanto al espacio, debe haber un mínimo espacio para poder montar la instalación de los paneles fotovoltaicos, y sabiendo que la azotea del edificio cuenta con 430 m² útiles donde se puede construir, no debería ser tampoco un problema. Como sólo se quiere cubrir el 75% de la energía demandada, el edificio también debe estar conectado a la red eléctrica, por lo que un sistema de baterías para almacenar energía no supone un problema. A medida que crece esta tecnología, su mantenimiento es menor, por lo que aumenta su fiabilidad.

El presupuesto de este tipo de instalaciones no es nada elevado teniendo en cuenta los otros diferentes tipos de energía a utilizar. Esto hace que el proyecto sea mucho más viable. La vida útil de los paneles fotovoltaicos está entre los 25 y los 30 años, por lo que se puede rentabilizar el coste del proyecto a largo plazo.

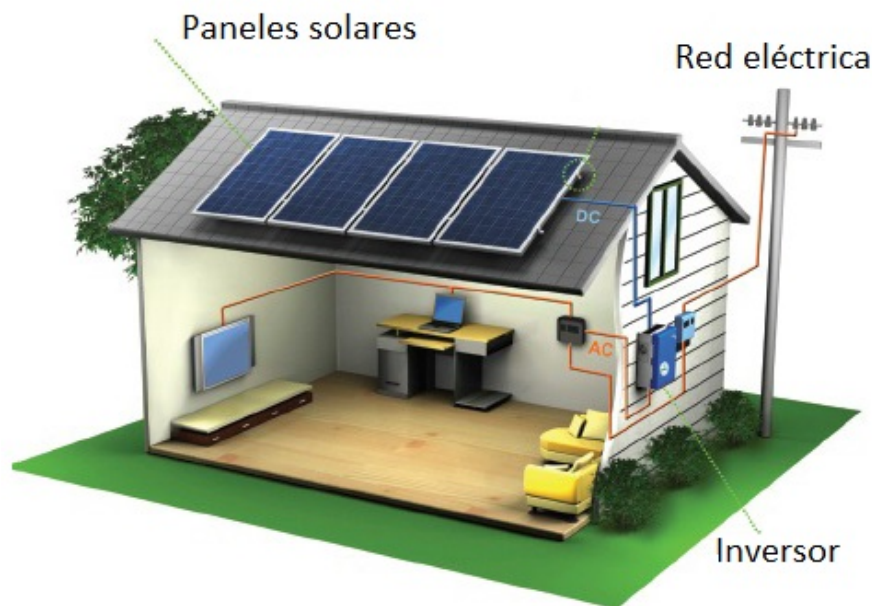


Figura 6 Representación de la instalación de un sistema de energía solar [6]

La energía solar termoelectrica es diferente. Esta consiste en el uso de espejos para concentrar la luz solar en un punto focalizado, que provoca que se consigan altas temperaturas y que el vapor accione una turbina para poder generar energía eléctrica.

Teniendo en cuenta que este tipo de energía es ideal para plantas de gran escala, y que se necesita un espacio considerable, no logra ser una opción del todo adecuada para este proyecto. A parte, el coste inicial de la instalación es muy elevado.

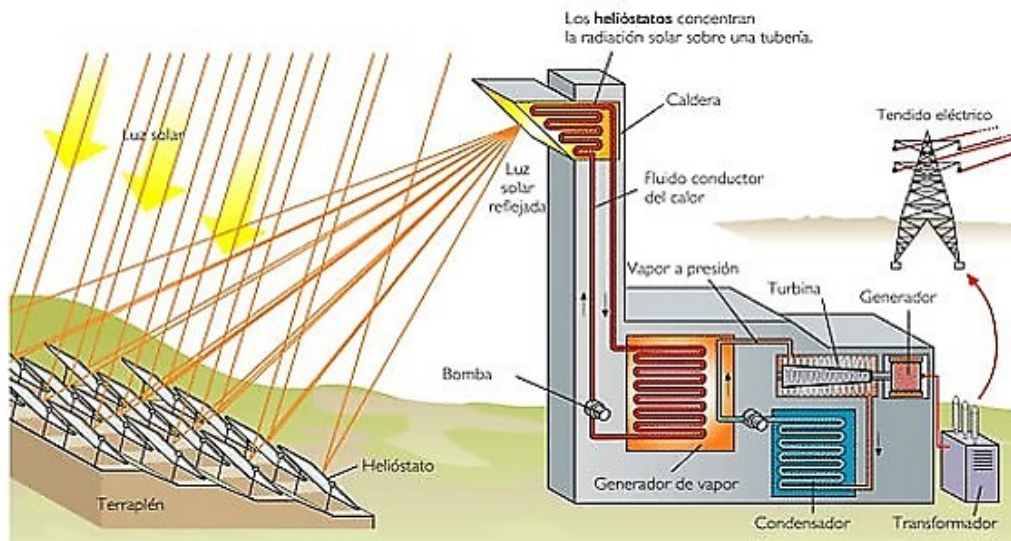


Figura 7 Representación de la instalación de un sistema termoelectrico [7]

Una vez se han visto los diferentes tipos de energía renovable, la opción que mejor encaja con el autoconsumo de una residencia en Barcelona es la opción de la Energía Solar Fotovoltaica, ya sea por el espacio, el presupuesto o el plan económico a largo plazo.

Capítulo 4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

4.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Antes de empezar a hablar sobre el propio funcionamiento de los paneles fotovoltaicos, se va a poner un poco en contexto general. La palabra *fotovoltaico* proviene del latín, y *foto* significa luz. *Voltaico* es la parte de la palabra que hace referencia a un físico y químico italiano llamado Alejandro Volta, cuyo hallazgo más famoso fue la invención de la pila eléctrica, y por eso el nombre de *fotovoltaico*.

Fue Edmond Becquerel, en 1839, quien descubrió el efecto fotovoltaico, el cual consistía en transformar luz solar en electricidad. No fue hasta más adelante que se empezó a darle un uso práctico.

La gran particularidad de los paneles fotovoltaicos es que son capaces de convertir la energía lumínica (energía proveniente de la luz Solar) en energía eléctrica, sin necesidad de pasar a energía mecánica durante el proceso, como sí que debe hacer por ejemplo la energía eólica con la energía cinética del viento para obtener electricidad.

Los paneles fotovoltaicos no dejan de ser placas que están formadas por celdas solares juntas. Realmente, estas últimas son las que transforman la energía lumínica en electricidad, y el hecho de ponerlas en serie hasta formar un panel fotovoltaico, solo hace que se genere más energía que con una sola. Por tanto, es importante destacar que cuanto mayor superficie tenga el panel fotovoltaico, más energía se pueda obtener de la luz Solar.

Las celdas solares no pueden estar hechas de cualquier material, sino que deben estar formadas por unos materiales que permitan la generación de electricidad gracias a la radiación solar. Estos son los metales fotoeléctricos (también llamados metales semiconductores), entre los cuales están el silicio (Si) (que después se explicarán sus posibles formas: amorfo, policristalino y monocristalino), el arseniuro de galio (GaAs) o el germanio (Ge).

El funcionamiento se basa en la liberación de electrones de la capa exterior de estos metales que forman las celdas solares, que provoca una corriente eléctrica, para encontrar un punto de

equilibrio. A menudo se utilizan otros materiales de diferentes valencias con tal de potenciar este suceso. Si se está usando silicio (con una valencia de 4 electrones), se le puede añadir a la capa exterior, es decir, la capa donde incide la radiación solar, átomos de un material con un electrón más de valencia, como puede ser el fósforo (P). De la misma manera, si a la última capa se le añaden átomos con un átomo menos de valencia que el silicio, como el boro (B), sucederá lo que se llama un efecto de difusión de electrones. Esto significa que en la cara exterior, donde hay una concentración alta de electrones, comenzarán a circular hasta llegar a la última cara, donde hay una concentración baja de electrones. Este proceso forma una diferencia de potencial de unos 0,7V, y la corriente que se genera es de corriente continua, por lo que más adelante es necesario convertirla a corriente alterna, para poder hacer uso de ella en asuntos que lo requieran. [8]

En la siguiente figura se puede ver, como se acaba de comentar, la adición de átomos de distinta valencia al silicio.

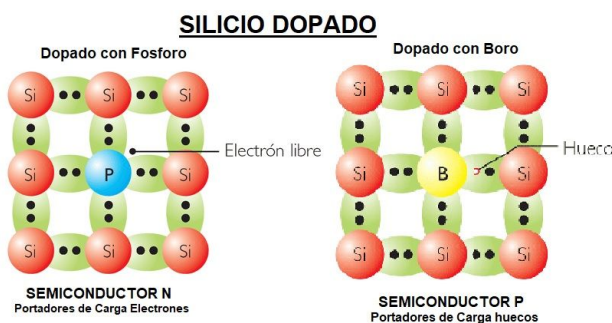


Figura 8 Representación del silicio reforzado [9]

Para poder ver el proceso más gráficamente, se puede observar esta imagen:

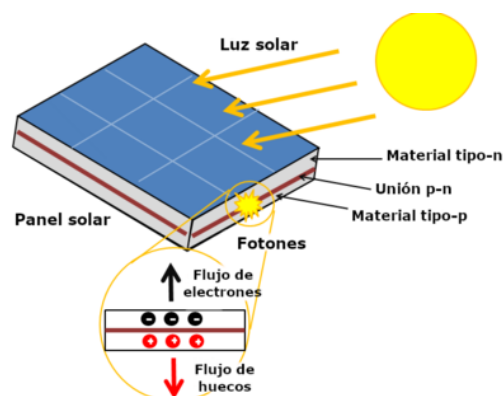


Figura 9 Representación gráfica del proceso de la conversión energética en los paneles [10]

4.2 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Antes de hablar sobre los diferentes componentes que forman una instalación fotovoltaica, es necesario saber distinguir entre dos tipos de instalaciones. Como bien se ha comentado ya en apartados anteriores, la energía solar fotovoltaica es una energía renovable y limpia, pero que dependiendo del uso que se le dé, puede ser suficiente o no para cubrir toda la demanda necesaria. Es por eso que se distinguen dos tipos de instalación fotovoltaica: la instalación fotovoltaica conectada a la red y la instalación fotovoltaica aislada.

4.2.1 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED

Este tipo de instalaciones son muy útiles. Su objetivo es generar la suficiente energía como para cubrir la demanda del consumidor. En el caso de que se esté generando más energía de la que se está consumiendo, el sistema fotovoltaico inyecta la energía excedente a la red. En caso contrario, si la generación de energía de los paneles fotovoltaicos no es suficiente para satisfacer las necesidades del consumidor, se suministra energía de la red eléctrica para poder compensar la diferencia.

Este modelo presenta ciertas ventajas importantes que se van a explicar a continuación. Primero de todo, gracias a las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, ofrece la posibilidad de no tener que depender de sistemas de almacenamiento de energía (como son las baterías) que pueden incrementar a gran escala los costes de la instalación, ya que si se necesita más energía de la que se posee, se puede suministrar con la red. Otra ventaja que ofrece está relacionada con las comercializadoras de la red. En caso de generar más energía de la necesitada, esta se inyecta en la red, con lo que la comercializadora puede ofrecer ofertas como es la de la *batería virtual*, que consiste en *almacenar* esa energía excedente en la red, para que el cliente pueda utilizarla incluso en segundas residencias. También existe la opción de liquidar dicha energía generada con la reducción en la factura del cliente (en caso de que la instalación no supere los 100 kW de potencia).

Para esta instalación es necesario un inversor para poder convertir la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, y poder verter la energía a la red.

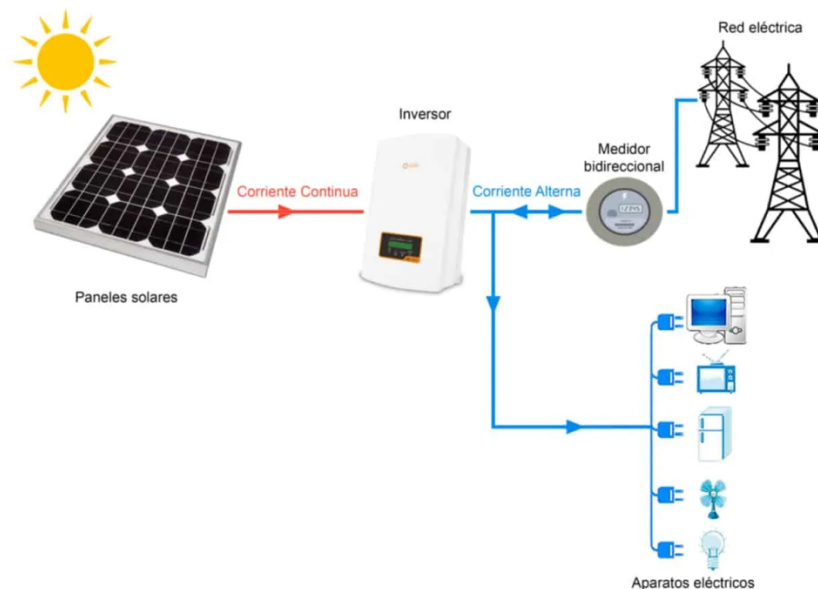


Figura 10 Esquema del funcionamiento de un sistema de paneles fotovoltaicos [11]

4.2.2 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA

En este caso, se trata de una instalación fotovoltaica que no está conectada a la red. Suelen ser instalaciones de difícil acceso y que no tienen a su disposición o cerca de su zona ninguna conexión a la red. Los lugares más comunes donde se puede encontrar este tipo de instalaciones son en casas rurales, granjas o sitios alejados de las zonas urbanas.

Al no tener acceso a la red, es necesario que estas instalaciones tengan métodos de almacenamiento de energía, como pueden ser las baterías, ya que en el caso de no dar abasto con la energía generada, se debe recurrir a dicha energía almacenada. Este aspecto encarece mucho la inversión. Por otro lado, se trata de sistemas con completa autonomía (aunque se pueden quedar sin energía en cualquier momento).

Cabe destacar que dada su peculiaridad, este modelo no precisa de ningún tipo de tarifa ni contrato con ninguna comercializadora, ya que toda energía utilizada se genera en el mismo emplazamiento.

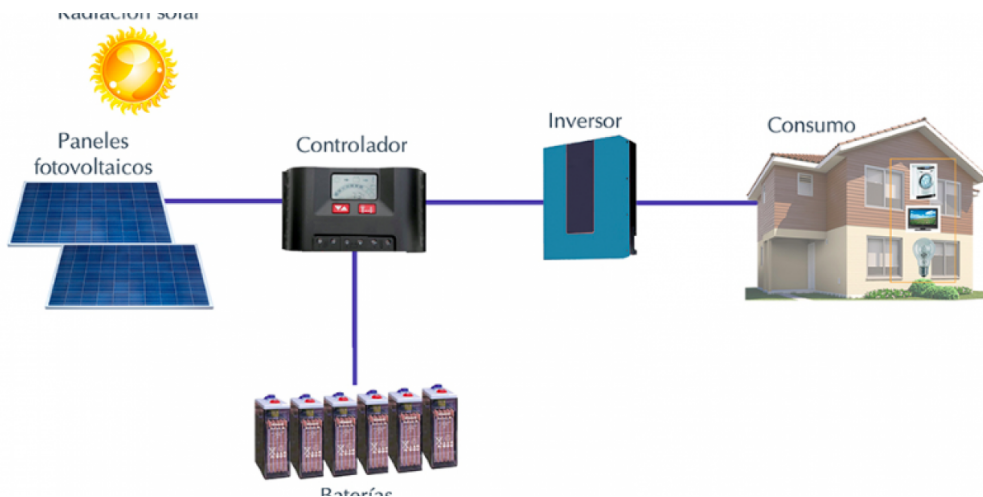


Figura 11 Esquema de la instalación de un sistema fotovoltaico aislado [12]

Una vez vista la diferencia entre ambos tipos de instalaciones fotovoltaicas, y teniendo en cuenta que la residencia del proyecto se encuentra en plena zona urbana de Barcelona, y que se quiere cubrir el 75% de la energía demandada, se ha decidido usar una instalación fotovoltaica conectada a la red.

Los componentes necesarios para la instalación se van a comentar a continuación.

4.2.3 PANELES FOTOVOLTAICOS

Previamente se ha explicado el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos y se ha decidido utilizar una instalación conectada a la red. Ahora se van a nombrar los diferentes tipos de paneles fotovoltaicos del mercado junto con sus distintos componentes y características. [13]

Existen tres tipos de panel fotovoltaico fabricados a base de silicio: monocristalino, policristalino o amorfo.

1- Panel fotovoltaico monocristalino

Como su propio nombre indica, los paneles fotovoltaicos monocristalinos están fabricados a partir de un solo cristal, por lo que se considera más puro. La elaboración de las celdas solares se basa en el corte en láminas del silicio, lo que permite conservar la pureza del mismo. Como resultado, se obtienen placas más eficientes y con mayor rendimiento. Son característicos por su color negro, y cabe destacar que son más caros que el resto de los paneles, aunque no es un argumento determinante a la hora de escogerlo en un proyecto, ya que es notablemente más eficiente y su vida útil es mayor. [14]

Este tipo de paneles es altamente recomendado para residencias, ya que suelen tener escasez de espacio (la instalación suele ser en la azotea), y un panel con mayor rendimiento es muy importante para maximizar la energía generada por superficie disponible.



Figura 12 Imagen de un panel fotovoltaico monocristalino [15]

2- Panel fotovoltaico policristalino

En este caso, la fabricación del panel policristalino es diferente al monocristalino. En vez de hacer cortes laminados del silicio, este se funde para posteriormente verterlo en moldes que forman las celdas solares. Este proceso provoca que aparezcan varias impurezas en la placa, por lo que la eficiencia y el rendimiento es menor que en los paneles monocristalinos. Son característicos por tener un color más azulado debido a esta fundición y son menos costosos. [16]

Es habitual ver este tipo de paneles fotovoltaicos en instalaciones industriales, donde se necesita un gran número de placas.



Figura 13 Imagen de un panel fotovoltaico policristalino [17]

3- Panel fotovoltaico amorfo

Este tipo de paneles tiene una característica principal que los distingue del resto, son más delgados. Por esta razón tienen el nombre de paneles de capa fina. Esta propiedad les permite ser muy versátiles a la hora de escoger el terreno donde se hará la instalación, ya que su composición tan fina les permite una elasticidad que les diferencia del resto.

Su inversión inicial es menor al resto, ya que requiere de menos material para su fabricación, sin embargo, su coste de mantenimiento es más elevado, al necesitar más atención debido a las impurezas que van apareciendo a lo largo del tiempo. Debido a sus características, este tipo de paneles no ofrecen tanta potencia como lo hacen los demás, es decir, que un panel amorfo con la misma superficie que un panel monocristalino o policristalino, ofrece menos energía. Por esta razón, si se quiere construir una instalación fotovoltaica de una cierta potencia, se va a requerir más superficie en una instalación de paneles amorfos que en las otras dos, con lo que aumentaría su coste, ya que se requeriría más material y más mantenimiento.

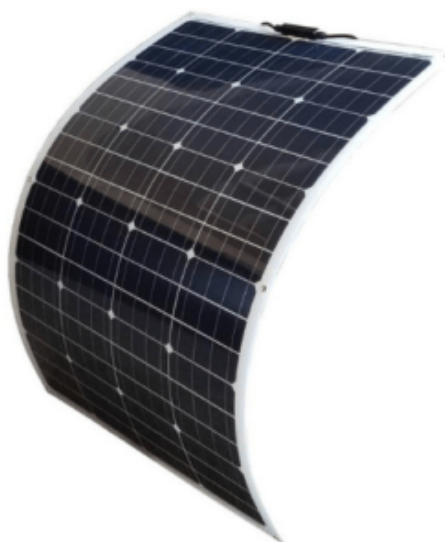


Figura 14 Imagen de un panel fotovoltaico amorfo [18]

Los paneles fotovoltaicos están formados por distintas partes importantes. A parte de las celdas solares, que son las encargadas de transformar la energía lumínica en energía eléctrica, se puede distinguir, para empezar, la cubierta transparente. Esta es muy importante para el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, ya que es la encargada de reducir al máximo las posibles pérdidas debidas a la convección. A este término se le llama efecto invernadero, ya que su función consiste en no dejar escapar a la radiación solar que atraviesa la cubierta para llegar a las celdas solares y se refleja.

Otra de sus partes es el aislamiento. Este es muy importante a la hora de evitar la pérdida térmica del interior del panel fotovoltaico. Sin embargo, hay que tener especial cuidado a la hora de poner un aislante, ya que se tiene que diseñar de tal forma que no perjudique de ninguna de las maneras al funcionamiento del panel. Para ello, es habitual colocar una placa reflectante que impida que el aislamiento se vea deteriorado por la radiación solar. Además, debe poder soportar las condiciones del interior del panel, en el caso de que se produzca humedad, y si se empieza a descomponer por el calor, que los gases desprendidos no se depositen en la cubierta, ya que disminuiría enormemente el rendimiento y la eficacia del panel.

También está la carcasa, que es la encargada de proteger el panel de daños exteriores. Junto con los soportes, que sirven para unir los paneles fotovoltaicos a la estructura del edificio donde se hace la instalación. Ambos suelen estar contruidos a partir de aluminio, ya que no es el material más caro, y permite ventajas como ser ligero o que no se corroe, que es un aspecto importante al ser estructuras que, normalmente, están al aire libre y sobre un techo. [19]

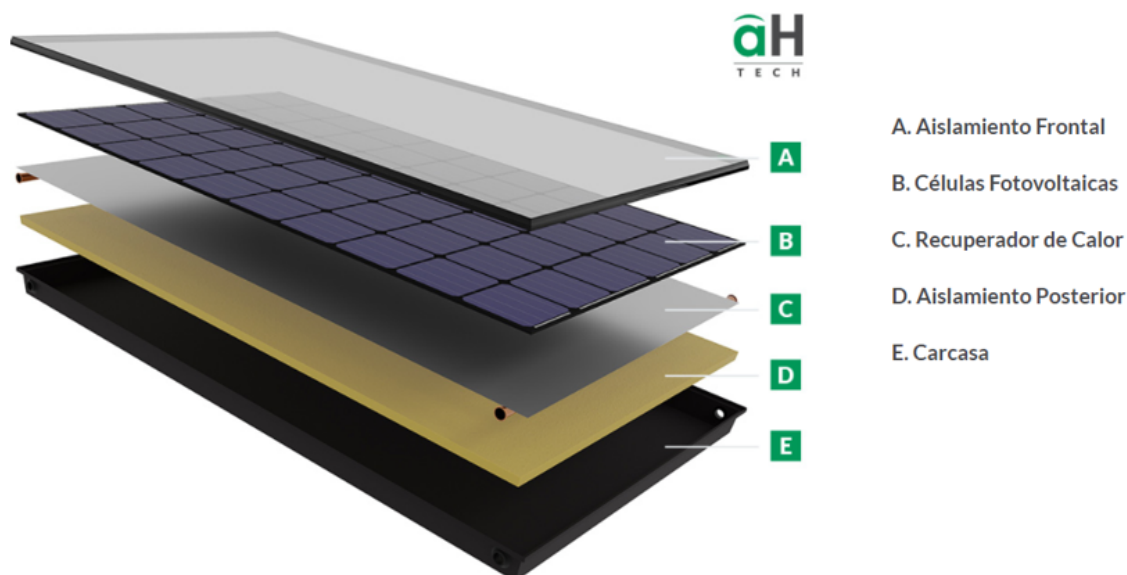


Figura 15 Componentes de un panel fotovoltaico [20]

A parte de todas estas capas mencionadas, existen otros componentes relevantes a la hora del conexionado de los paneles fotovoltaicos, como son los conectores, el cableado o las conexiones. Es muy importante para este proyecto clarificar la diferencia que existe entre la conexión en serie y la conexión en paralelo que se pueden hacer con los paneles fotovoltaicos, al igual que las diferentes combinaciones posibles que se pueden conseguir con tal de optimizar la instalación que se desea.

A continuación se va a explicar las características principales de estos tipos de conexión.

- *Conexión en serie*

Es la conexión más sencilla, ya que consiste en conectar el polo positivo de un panel con el polo negativo de otro. Esto permite que la corriente que circula por los paneles fotovoltaicos sea la misma, y a medida que se añadan paneles a la conexión en serie, mayor será el voltaje acumulado entre todas las placas, ya que se suman. Es importante tener en cuenta el voltaje máximo que permite la instalación, más concretamente el inversor, del cual se hablará más adelante. Los paneles fotovoltaicos no pueden superar el voltaje máximo que permite el inversor, ya que si no, podría haber daños importantes en la instalación, y eso implica más costes de reparación. [21]

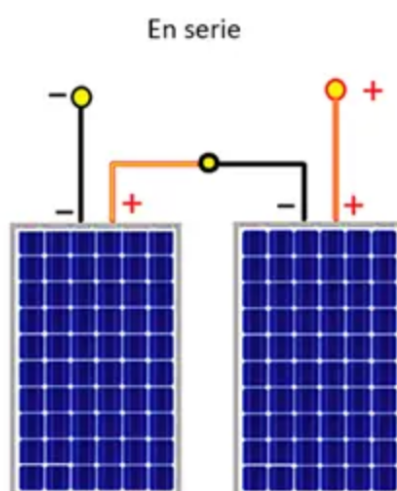


Figura 16 Representación paneles fotovoltaicos en serie [22]

- *Conexión en paralelo*

Esta conexión es más o menos el contrario que la conexión en serie. En este caso se conectan los polos positivos de los paneles fotovoltaicos entre ellos, al igual que los polos negativos. Esto permite que el voltaje de la instalación sea la de un solo panel (no se suma como en el caso anterior) y la corriente sea la suma de cada una de las corrientes que pasan por las placas. Para esta conexión, los paneles deben tener las mismas características, o al menos muy similares. [22]

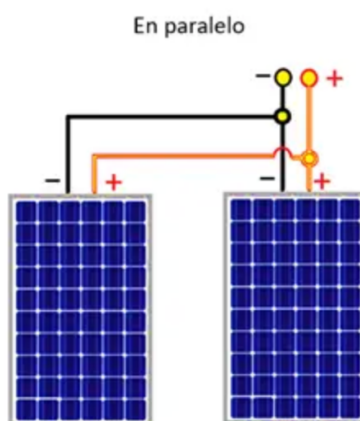


Figura 17 Representación conexión paneles fotovoltaicos en paralelo [22]

- *Conexión mixta*

En este caso, se hace una combinación de conexiones en serie con conexiones en paralelo. Es una de las más empleadas en el día a día, ya que permite modificar tanto la corriente máxima como el voltaje máximo, siempre y cuando se respeten los límites de la propia instalación. Es muy importante que las ramas en paralelo contengan el mismo número de módulos en serie, ya que si no se puede dañar la instalación.

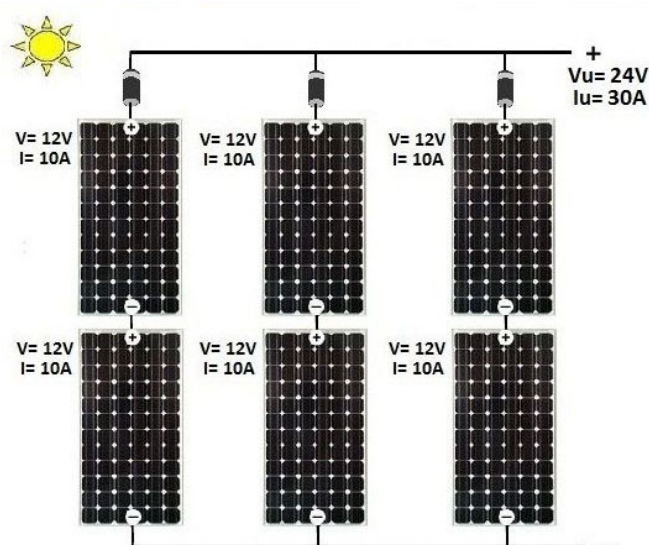


Figura 18 Representación conexión mixta de paneles fotovoltaicos [23]

4.2.4 INVERSORES

Este es, según muchas personas, el elemento más importante de la instalación fotovoltaica junto con los paneles solares. Como se ha comentado anteriormente, las celdas solares son las encargadas de transformar la energía lumínica en energía eléctrica, pero estas generan corriente continua, la cual no es compatible con la red ni con muchos consumos. Es por eso, que un componente como el inversor es muy importante, ya que es el encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna.

Dentro de los inversores, existen dos grandes grupos distinguibles. Los que son capaces de generar una onda compatible con la onda de la red eléctrica (con conexión a red) y los que generan una onda distinta e independiente (aislados de la red). [24]

- *Inversores con conexión a red*

Con este tipo de inversor, existe la posibilidad, no solo de consumir energía, sino de verter energía a la red y monetizarla, es decir, venderla. Toma la corriente continua generada por las celdas solares y la transforma a una onda igual a la que se detecta, en este caso a la de la red eléctrica donde se encuentre conectada la instalación. Gracias a la protección anti-isla, en caso de que no se detecte ninguna onda de red, la instalación fotovoltaica no generará energía.

Dentro de esta familia de inversores, está el micro inversor. La peculiaridad de estos inversores es que se pueden conectar en cada uno de los paneles fotovoltaicos, haciendo así, que en caso de una falta, solo se vea perjudicado el panel que haya sufrido el daño o el fallo. Al haber un micro inversor por cada panel, el mantenimiento es más costoso que con el resto de los inversores.



Figura 19 Imagen de un micro inversor [25]

Otro es el inversor string, cuya principal diferencia con el micro inversor, es que hay uno en cada rama en paralelo de la instalación. Su funcionamiento se basa en lo siguiente: regula la generación de energía de los paneles según la placa que esté teniendo menor rendimiento. Por tanto, si existe un error como puede ser polvo en un panel, sombra o cualquier otra cosa que perjudique su producción de energía, el inversor limitará la producción de energía del resto de paneles a esa.



Figura 20 Imagen de un inversor string [26]

En la siguiente imagen se puede ver la diferencia entre ambos inversores ante un fallo, como puede ser el recubrimiento de un panel con hojas:

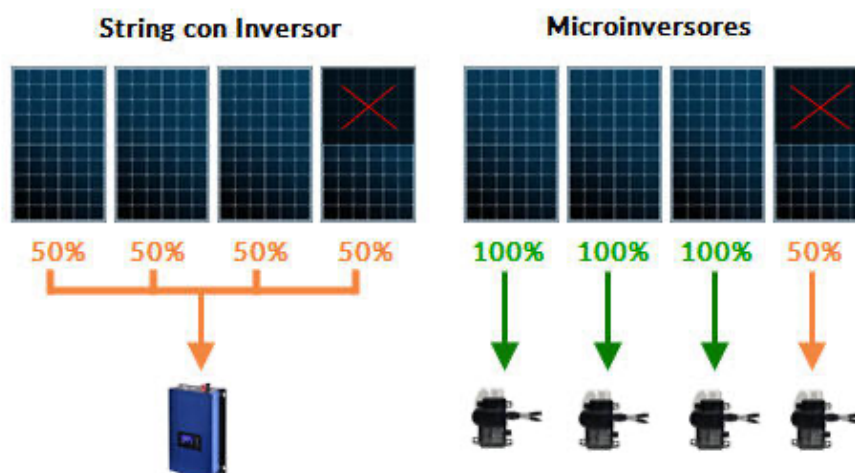


Figura 21 Diferencia entre ambos inversores ante un fallo [27]

El último inversor de esta familia conectada a red es el inversor central, el cual se usa para parques fotovoltaicos de gran tamaño, siendo su potencia mayor a los 100 kW.



Figura 22 Imagen de un inversor central [28]

- *Inversores aislados de la red*

En este caso, la energía producida debe almacenarse en un sistema de baterías o se usa directamente para el consumo del emplazamiento, ya que no hay conexión a la red eléctrica. Por esa razón, el inversor de este tipo de instalaciones es el encargado de generar una onda que se adapte a los consumos, por lo que no tiene que sincronizarse con una red ya existente.

Dentro de esta segunda familia se encuentran los inversores, los inversores-cargadores y los inversores híbridos.

El inversor es el ejemplar más simple, ya que su único objetivo es tomar la electricidad almacenada en las baterías y transformarla a corriente alterna para poder consumir en el emplazamiento.

El inversor-cargador, a diferencia del inversor simple, aparte de transformar la corriente continua en alterna, también es capaz de hacerlo a la inversa, es decir, transformar corriente alterna en continua, con el fin de volver a cargar las baterías de la instalación.

Y el inversor híbrido, es capaz de conectar directamente los paneles fotovoltaicos, las baterías de almacenamiento y el propio consumo del emplazamiento gracias a un regulador de carga.

4.2.5 SOPORTES DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Este componente es muy importante para optimizar el rendimiento de un panel fotovoltaico. Su objetivo es favorecer la captación de la radiación solar de los paneles. Según la localización de la instalación, se tendrá una latitud u otra, por lo que los rayos del Sol no inciden de la misma manera en un lugar que en otro. Es por ello que el soporte ayuda a conseguir un ángulo óptimo de los paneles que garantiza el máximo rendimiento.

Existen dos tipos principales de soportes. Los más baratos son los soportes fijos, es decir, que se fabrican para que puedan ofrecer un solo ángulo de inclinación, y no se puede modificar. Los segundos, que son mucho más caros, son soportes automatizados que siguen la trayectoria del Sol para aprovechar por completo la radiación Solar, mediante el giro de estos, impulsado por un motor.



Figura 23 Soporte de inclinación variable [29]



Figura 24 Soporte de inclinación fija [30]

4.2.6 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Como se puede suponer, este componente es indispensable en una instalación aislada de la red (mientras que en una instalación conectada a red es opcional). Tiene el objetivo de almacenar la energía extra generada y que no se ha consumido, para que posteriormente, el consumidor pueda consumirla y no se desaproveche en ningún momento la luz Solar. Se almacena la corriente continua, y cuando se quiere usar energía almacenada, se usa el inversor para transformarla en corriente alterna. El elemento más común en las instalaciones fotovoltaicas son las baterías, que se pueden encontrar varios tipos. [31]

- *Baterías monobloque*

Las baterías monobloque o *monoblock* en inglés, son comunes en instalaciones fotovoltaicas de poca potencia, como puede ser en una casa, por ejemplo. Tienen muy buen rendimiento y son de las más económicas del mercado. Una de sus desventajas es que su ciclo de vida ronda los cinco años, por lo que puede ser incompatible dependiendo del proyecto.



Figura 25 Imagen de una batería monobloque [32]

▪ *Baterías estacionarias*

En este caso, las baterías estacionarias son más comunes en instalaciones de media y alta potencia. A diferencia de las baterías monobloque, las baterías estacionarias ofrecen un ciclo de vida de veinte años aproximadamente. Su coste es superior a las anteriores, pero en un proyecto a largo plazo, son mucho más rentables.

Dentro de esta familia, hay distintos tipos de batería, como son las baterías OPZS, las baterías OPZV o las baterías TOPZS. Estos tipos de baterías se diferencian en los ciclos de mantenimiento, los costes y la vida útil.



Figura 26 Imagen baterías estacionarias [33]

▪ *Baterías de litio*

Seguramente, las baterías más usadas y con mejor rendimiento del mercado. Son muy útiles debido a su gran durabilidad, su poco peso y no tener un mantenimiento elevado. Su vida útil suele rondar los quince años, por lo que es completamente compatible con proyectos a largo plazo. Al estar selladas, los gases emitidos por la batería no son un problema. Una de sus desventajas es su elevado precio, que incrementaría significativamente el presupuesto del proyecto.



Figura 27 Imagen de una batería de litio [34]

4.2.7 CONTADOR BIDIRECCIONAL O “METER”

Es el componente encargado de medir la cantidad de energía que se extrae de la red y la que se obtiene del sistema fotovoltaico. Es capaz de medir la energía excedente que se ha producido que se debe verter en la red ya que no es necesaria en el consumo. Dependiendo del contrato que se tenga con la comercializadora, se obtendrá un beneficio u otro.



Figura 28 Imagen de un contador bidireccional [35]

Estos son los componentes que forman una instalación de paneles fotovoltaicos. En la siguiente figura se ve un esquema general de cómo sería una instalación de este tipo:

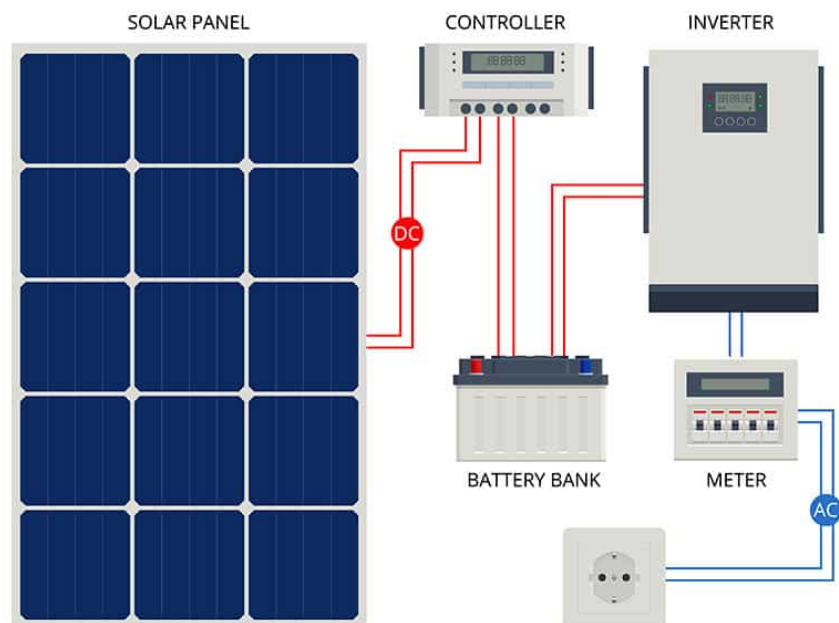


Figura 29 Esquema básico de instalación fotovoltaica conectada a red [36]

4.3 NORMATIVA DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El 5 de abril de 2019 se aprobó el Real Decreto 244/2019. Este regula una serie de condiciones técnicas, administrativas y económicas para la protección de los ciudadanos que habían decidido hacer una inversión en el autoconsumo fotovoltaico. Algunas de estas medidas son las siguientes: [37]

- Se pueden diferenciar dos tipos de autoconsumo. El autoconsumo sin excedentes son aquellas instalaciones a las que no se les permite inyectar energía excedente a la red de distribución. El autoconsumo con excedentes, que permite a las instalaciones de producir energía para el autoconsumo, además de poder inyectar energía excedente a la red.
- Existen dos casos distintos en el autoconsumo con excedentes. El primero es el autoconsumo acogido a compensación, que se basa en la compensación por parte de la comercializadora por la energía excedente que se ha producido que se inyecta a la red y que no se ha usado en el autoconsumo. Para poder optar a la compensación, es necesario que la energía inyectada provenga de una fuente de energía renovable, que la potencia de la instalación sea menos a los 100 kW, hay un contrato firmado entre consumidor y comercializadora y que el consumidor nunca obtenga beneficios, es decir, que nunca tenga una factura negativa. El segundo caso es el autoconsumo no acogido a compensación, que es el caso de que no se cumplan estas medidas mencionadas o que se decida no acogerse.
- Gracias a este Real Decreto, compartir energía es posible. Se puede hacer tanto en instalaciones próximas en red interior (como pueden ser los pisos de una comunidad de vecinos) o en instalaciones próximas a través de la red (en el caso de dos edificios independientes que están cerca el uno del otro).

Para esto, los consumidores tienen que estar conectados a la misma base de transformación y la distribución de dicha energía debe ser a baja tensión. Entre la instalación fotovoltaica y sus diferentes consumidores, debe haber una distancia máxima de 500 metros, sino no es posible compartir energía. El autoconsumo compartido se puede acoger tanto al autoconsumo con compensación como al autoconsumo sin compensación, siempre y cuando los participantes estén de acuerdo y tengan un contrato firmado con la empresa distribuidora.

- Existen sanciones debidas al incumplimiento de la normativa. La sanción máxima corresponde con el 10% de la facturación anual del consumidor.
- Para poder instalar paneles fotovoltaicos son necesarios diversos permisos. Entre ellos están el diseño de la instalación, permisos de acceso y conexión (avales o garantías), autorizaciones ambientales y de utilidad pública, autorización administrativa previa y deconstrucción, licencia de obras, ejecución de la instalación, inspección inicial e inspecciones periódicas, certificados de instalación y certificados de fin de obra, autorización de la instalación, contrato de acceso, contrato de suministro de energía servicios auxiliares, licencia de actividad, acuerdo de reparto y contrato de compensación de excedentes, inscripción en el Registro Autonómico de autoconsumo, inscripción en el Registro Administrativo de Autoconsumo de energía eléctrica, inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones Productoras de Energía Eléctrica y el contrato de representación del mercado.

Capítulo 5. OBJETIVOS DEL PROYECTO

5.1 OBJETIVOS

Como he comentado en los apartados anteriores, el proyecto consiste en encontrar la viabilidad de implementar un sistema de paneles fotovoltaicos en un edificio residencial. Los objetivos principales del trabajo son:

- **Instalación del sistema de paneles fotovoltaicos:** se hará una planificación para determinar qué elementos se usan en la instalación, teniendo en cuenta rendimientos, limitaciones, disponibilidad, y resultados en la eficiencia energética. Es por eso que se realizará una optimización para determinar el número de placas necesarias para cubrir con la demanda, teniendo en cuenta el espacio disponible, y a continuación, se determinará sus inclinaciones, direcciones y demás características.
- **Rentabilidad económica:** en este trabajo se busca conseguir la eficiencia energética que permita reducir los costes de la electricidad consumida en una vivienda. La instalación tiene que ser rentable, por lo que se tendrá que reducir los costes tanto de la instalación como del consumo energético. Por tanto, se deberán escoger los paneles fotovoltaicos que mejor se adapten a las necesidades demandadas.
- **Viabilidad del proyecto:** aunque se cumplan las expectativas energéticas, se debe demostrar que dicho proyecto es realmente viable. Por tanto, se deberá comparar críticamente con la opción ya empleada y ver si es mejor o no.

5.2 ALINEACIÓN CON LOS ODS

- *Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante*

Como ya se ha comentado, este proyecto se centra en la implantación de paneles fotovoltaicos para conseguir así un sistema energético más sostenible. La fuente de energía necesaria es el Sol, que es asequible y no contaminante, por tanto, cumple con los requisitos de este objetivo, siendo una energía limpia.

- *Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles*

Se han alcanzado cifras de 8000 millones de habitantes en la Tierra, y la mitad de ellos viven en zonas urbanas. Es evidente que el gran crecimiento de la sociedad hace que sea necesario llegar a un mínimo nivel de sostenibilidad, para que las condiciones de vida sean óptimas en dichas zonas urbanas. En este proyecto, se incita la instalación de un sistema sostenible que favorece a la convivencia en una zona urbana y reduce el consumo urbano a niveles óptimos.

- *Objetivo 12: Producción y consumo responsables*

Hoy en día el consumo de energía es muy elevado, e irá a más a medida que las nuevas tecnologías avancen. Es por eso que se tiene que tomar conciencia de consumir lo justo y necesario, además de utilizar energías que no agoten los recursos como el petróleo o el gas natural. Es por eso, que una muy buena solución son los paneles fotovoltaicos, ya que necesitan el Sol como combustible, que es un recurso ilimitado y no contaminante.

- *Objetivo 13: Acción por el clima*

Como ya sabemos, el cambio climático es un problema constante en el mundo hoy en día. Las emisiones de gases de efecto invernadero suponen un problema real, ya que aceleran a un ritmo escalofriante el cambio climático. Es por eso que se deben tomar medidas, como por ejemplo, el uso y la implantación de energías renovables, es decir, que no requieran combustibles como el petróleo, el gas natural o el carbón. De entre todas las energías renovables, en este proyecto se opta por la energía solar (paneles fotovoltaicos), y de esta manera, se minimizarán potencialmente las emisiones de CO₂ u otros gases de efecto invernadero.

Capítulo 6. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

6.1 EMPLAZAMIENTO

Como se ha comentado previamente, este proyecto consiste en el desarrollo de una instalación de paneles fotovoltaicos con el fin de suministrar energía eléctrica a un edificio residencial en Barcelona, concretamente, en la zona portuaria, en la calle Avenida Icaria. En 1992 fueron las Olimpiadas en Barcelona, y hubo grandes construcciones en la ciudad, desde pabellones, estadios y residencias para los atletas. Este edificio es una de esas residencias que se destinaron al hospedaje de los participantes de los Juegos Olímpicos. Forma parte de una urbanización con más bloques iguales, pero este proyecto se centra en uno de ellos. Tiene 25 pisos distribuidos en 5 columnas de 5 pisos cada una.

6.2 PLANO DE LA CUBIERTA

Para elaborar un estudio más preciso y eficiente, es necesario conocer bien el terreno donde se va a elaborar el proyecto. En la siguiente imagen se puede ver el plano de la cubierta del edificio donde se hará el montaje del sistema de paneles fotovoltaicos, que cuenta con 624 m² de superficie total y 430 m² de superficie útil donde se podrá llevar a cabo el montaje del sistema fotovoltaico:

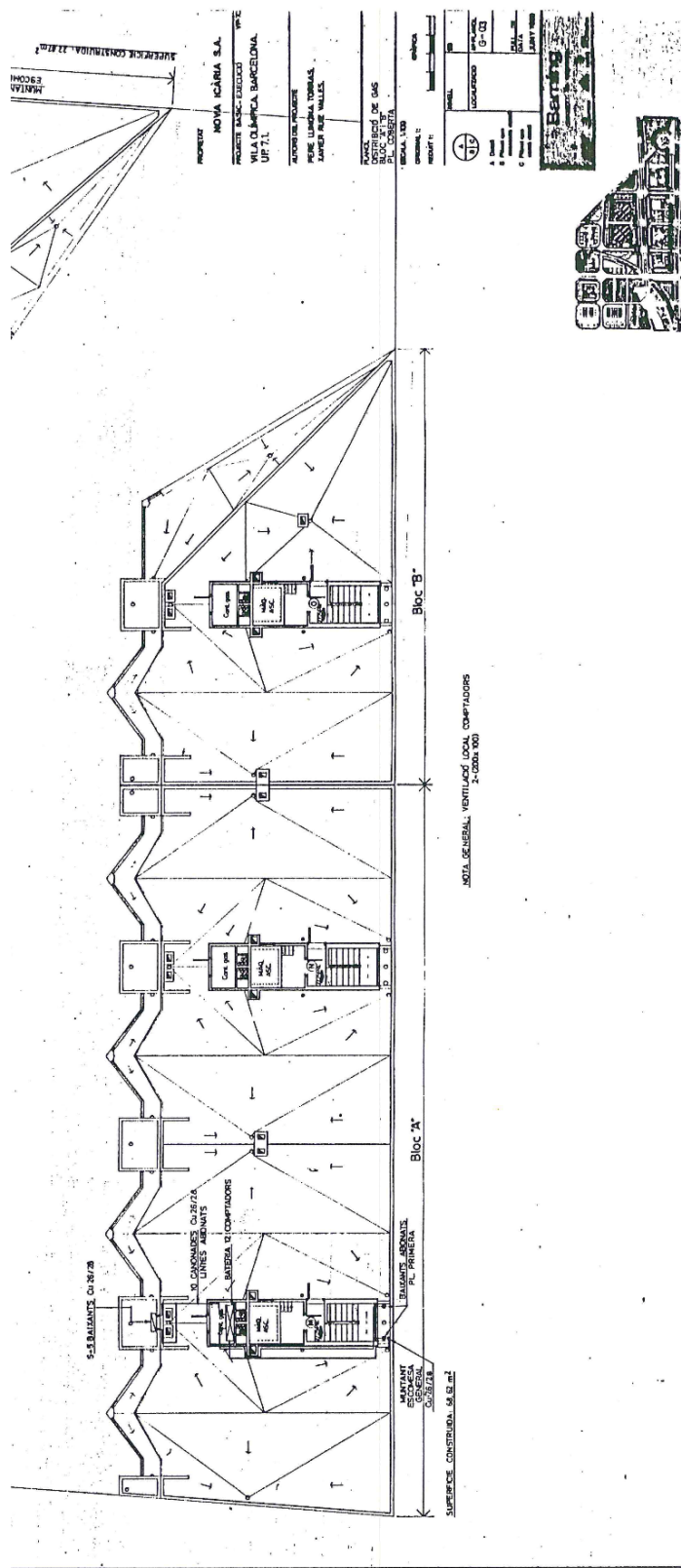


Figura 30 Plano de la cubierta del edificio a estudiar

En la siguiente imagen se puede ver una vista aérea del edificio desde Google Maps, donde se puede ver que el terreno de la azotea es plano, por lo que facilitará el proceso de cálculo a la hora de ver qué inclinación deben tener los paneles fotovoltaicos:

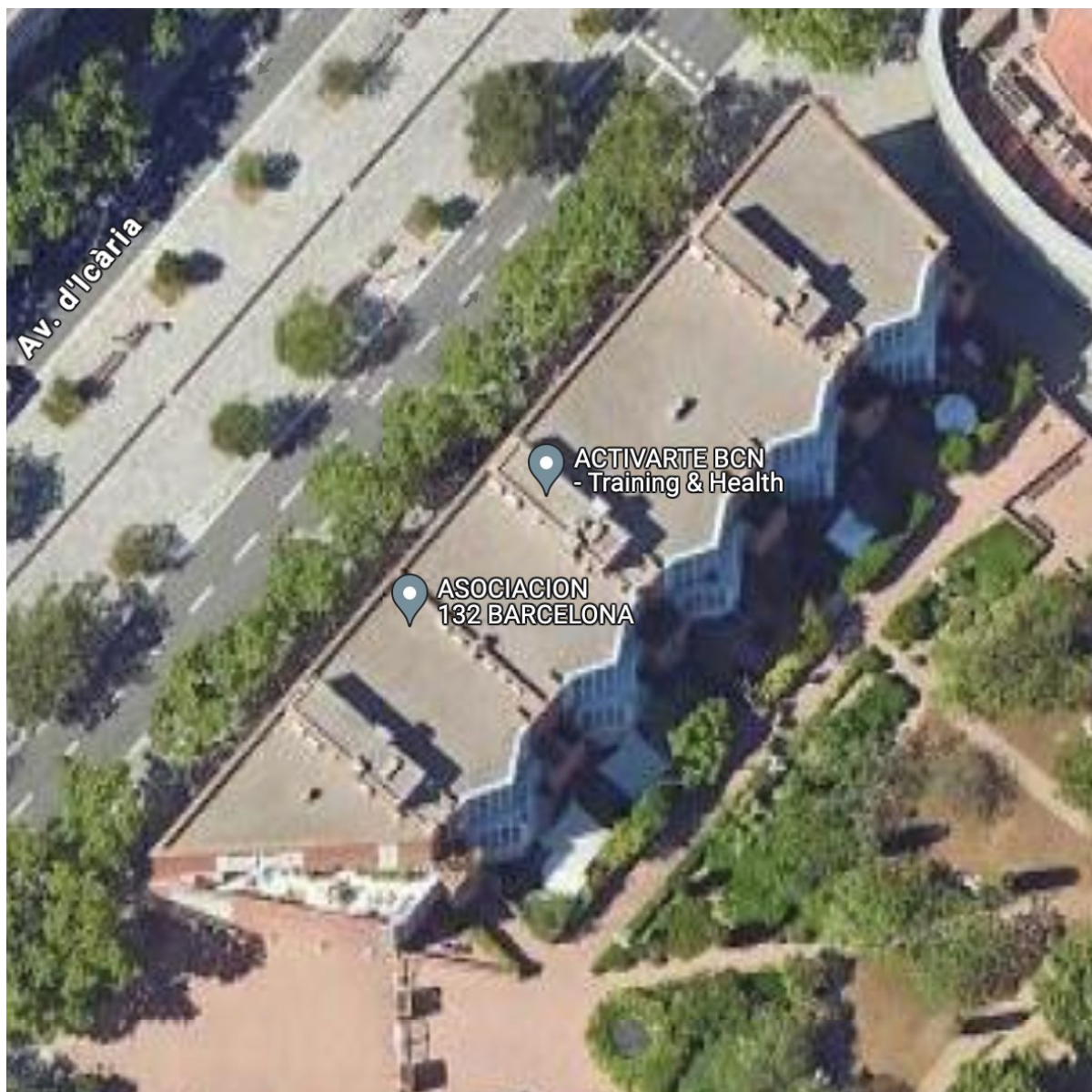


Figura 31 Vista aérea del edificio

6.3 CONSUMOS DEL EDIFICIO

Como se puede suponer, para poder llevar a cabo el proyecto, son necesarios los consumos de energía eléctrica del edificio durante un periodo de tiempo considerable para poder ver como varía, como por ejemplo, los de un año. Como objetivo del proyecto, la instalación del sistema de paneles fotovoltaicos debe aportar el 75% de la energía consumida por el edificio. Gracias a los datos de la siguiente tabla, más adelante se podrá hacer una estimación de cómo debe ser la instalación (potencia necesaria, cantidad de paneles, etc.) y servirá para comparar si se ha mejorado o no económicamente. En la tabla se puede ver el precio de la factura al mes (desde agosto del 2022 hasta julio del 2023), junto con la cantidad de energía consumida por el edificio.

MES	FACTURA EDIFICIO [€]	Potencia demandada EDIFICIO [kWh]
ago-22	3690,75	8000
sep-22	3619,5	7850
oct-22	2785	5800
nov-22	3307	7052,5
dic-22	2900,25	6233,5
ene-23	2627,25	5381,25
feb-23	2264,5	4445
mar-23	2383	4798,5
abr-23	2335,25	4674
may-23	1980	3847
jun-23	2175,25	4323,5
jul-23	2173	4317
TOTAL ANUAL	32240,75	66722,25

Tabla 1 Consumos mensuales del edificio (Elaboración propia)

Capítulo 7. ESQUEMA BÁSICO DE LA INSTALACIÓN

7.1 POTENCIA DE LA INSTALACIÓN

Como se ha comentado anteriormente, la tabla de los consumos mensuales va a servir para estimar la potencia necesaria que debe tener la instalación fotovoltaica. En este caso, se ha obtenido un consumo anual de 66722,25 kWh. Como el objetivo de este proyecto se centra en cubrir el 75% de la energía demandada por el edificio con el sistema fotovoltaico, se tiene lo siguiente:

Ecuación 1

$$\text{Ecuación 2 } \text{Energía}_{A \text{ cubrir/año}} = 0.75 * 66722,25 \text{ kWh} = 50041,68 \text{ kWh}$$

Para poder saber la potencia del sistema fotovoltaico, se va a necesitar un dato que muestre la cantidad de horas de Sol eficaces que inciden en la zona de la península donde se encuentra el edificio. De esta forma, sabiendo la energía que se debe aportar y el número de horas que tiene de Sol al año, se puede obtener la potencia del sistema de paneles fotovoltaicos.

A continuación se puede observar una imagen donde se observan dos datos:

- Energía [kWh] por superficie [m²]
- Horas de Sol al año [h]

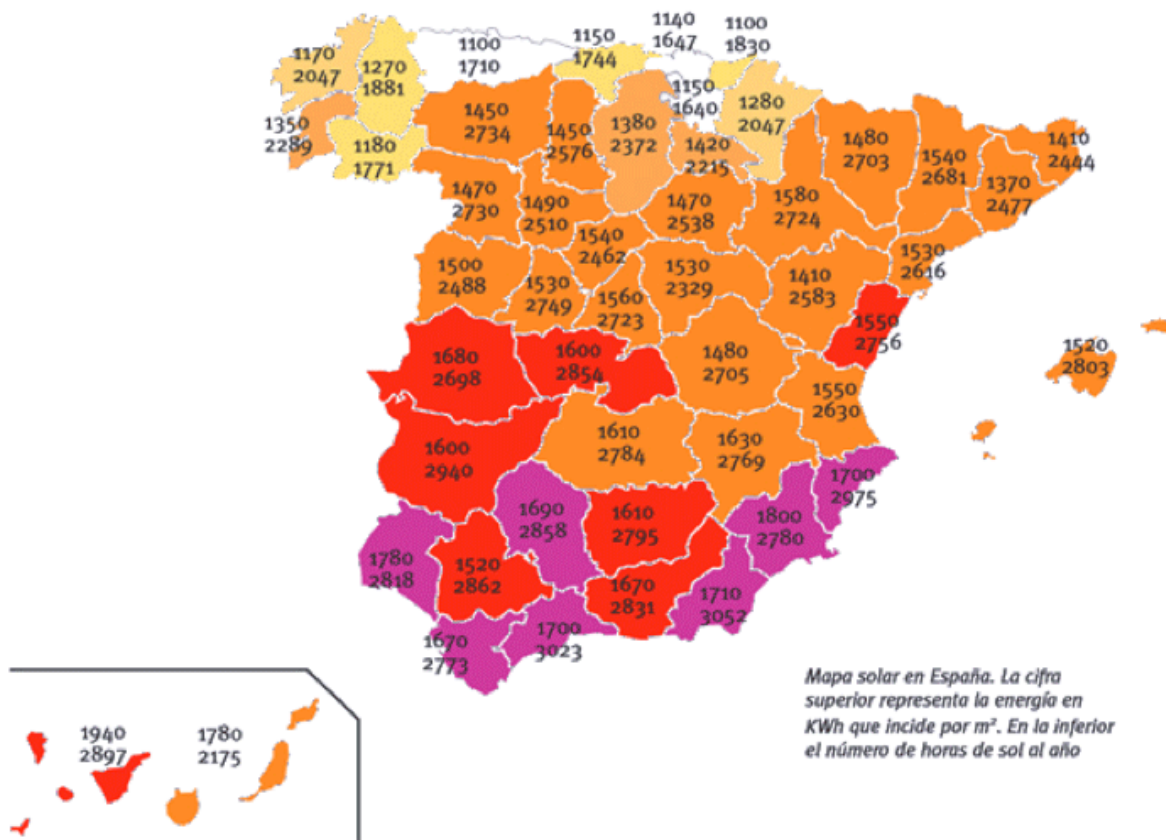


Figura 32 Mapa de radiación solar en España [38]

Como se puede ver en la imagen, en Barcelona hay una media de 2477 horas de Sol efectivas. De esta forma, se puede obtener la potencia instalada del sistema fotovoltaico como se muestra a continuación:

Ecuación 2

$$P = \frac{\text{Potencia consumida}}{\text{Horas de Sol efectivas}} = \frac{66722,25 \text{ kWh/año}}{2477 \text{ h/año}} = 26936,72 \text{ W}$$

Como se ha visto antes, al quererse suministrar el 75% de la energía demandada, la potencia necesaria de los paneles será la siguiente:

Ecuación 3

$$P = 0,75 * 26936,72 = 20202,54 \text{ W}$$

Por tanto, el sistema de paneles fotovoltaicos tendrá una potencia de al menos **20202,54 W**, para poder suministrar el 75% de la energía demandada.

7.2 ORIENTACIÓN DE LOS MÓDULOS

A la hora de diseñar la distribución y la colocación de los paneles fotovoltaicos, es obligatorio hacer un estudio previo del terreno, ya que el rendimiento de los paneles fotovoltaicos depende en gran medida de su colocación. Para poder aprovechar al máximo su rendimiento, se tienen que fijar dos valores de gran importancia, que son los siguientes:

- *Ángulo azimut:* Ángulo que muestra desde donde llega la luz Solar a la tierra (el ángulo 0° corresponde con el eje Sur).

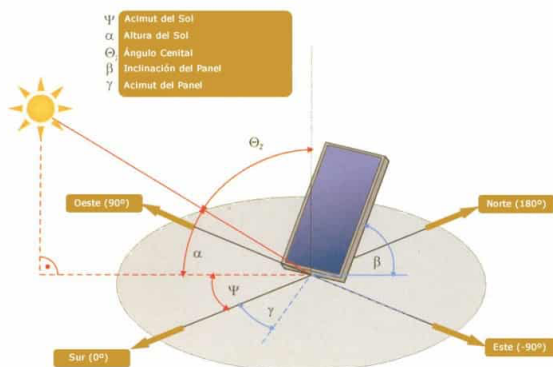


Figura 33 Representación ángulo azimut [39]

- *Ángulo de inclinación:* Ángulo que forma el panel con respecto al plano que forma la superficie horizontal. En caso de estar en un terreno ya inclinado, el ángulo de inclinación se calculará relativo a este. Este ángulo se consigue con un soporte fijo, que se escogerá más adelante.



Figura 34 Ángulo de inclinación del panel [40]

Como se puede ver en la siguiente imagen, los rendimientos de los paneles fotovoltaicos dependen mucho de su orientación e inclinación. Por lo que se deberán fijar dichos ángulos para maximizar el rendimiento del sistema.

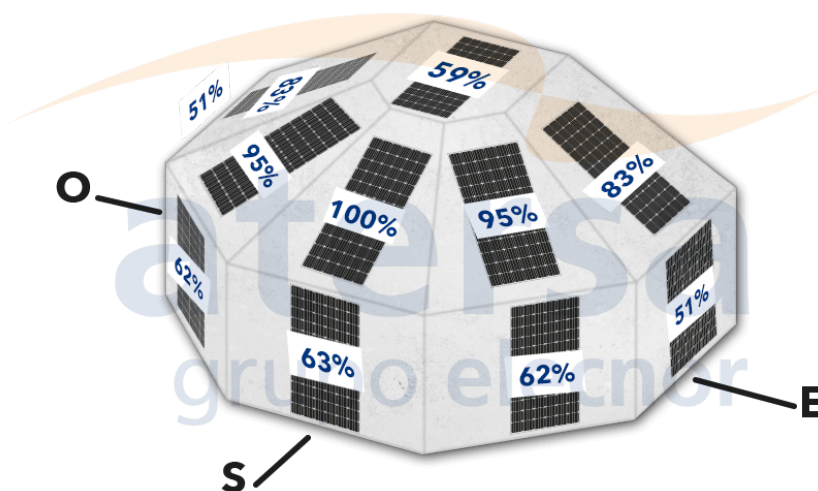


Figura 35 Variación del rendimiento del panel según su orientación [41]

En España, el ángulo de azimut se suele fijar a 0° , es decir, en dirección sur, ya que maximiza su generación de energía.

Ecuación 4

$$\text{Ángulo de azimut} = 0^\circ$$

Por otro lado, el ángulo de inclinación se puede calcular de la siguiente manera:

Ecuación 5

$$\text{Ángulo de inclinación} = 3,7 + 0,69 * L$$

Donde la L es la latitud del edificio, que en este caso es de 41,39°, por lo que el resultado es:

Ecuación 6

$$\text{Ángulo de inclinación} = 32,26^\circ$$

Hoy día existen soportes de paneles fotovoltaicos que permiten a los paneles hacer un seguimiento de la posición del Sol, por lo que el rendimiento aumentaría mucho al aprovecharse más horas de Sol, pero dado que el coste sería mucho más elevado, y su mantenimiento también sería más costoso, se descarta esta opción. Se usarán soportes fijos que se escogerán más adelante.

7.3 ELECCIÓN DE MÓDULO

Para poder escoger el módulo que se va a usar en la instalación fotovoltaica, se va a utilizar una base de datos Excel que contiene los diferentes módulos del mercado, cada uno con sus propias características. El objetivo de este apartado es elegir la mejor opción de las que se dispone, teniendo en cuenta rendimiento y coste.

Como se ha comentado previamente, lo primero que se debe escoger es si se va a usar un panel de silicio monocristalino, policristalino o amorfo. Dado que el terreno donde se quiere montar la instalación fotovoltaica es en la azotea de un edificio, donde la superficie es limitada, y se quiere obtener el máximo rendimiento posible, los paneles amorfos quedan descartados por ocupar mucho más espacio (y por no ser necesaria su característica de adoptar la forma del suelo, ya que es una superficie plana). Seguidamente, los paneles policristalinos, a pesar de ser más económicos, también quedan descartados, ya que se va a priorizar más la potencia, y su uso es más común en instalaciones industriales. Dado que se trata de un proyecto con vistas a largo plazo, se espera recuperar la inversión. Por tanto, se van a escoger los paneles de silicio monocristalinos, que tienen mejor rendimiento.

En las siguientes tablas se pueden ver todos los paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino que se disponen en la base de datos y sus características técnicas y físicas.

<i>MÓDULO</i>	<i>Potencia [W]</i>	<i>I_{pmp} [A]</i>	<i>V_{pmp} [V]</i>	<i>Material</i>	<i>Coef T^a</i>
ALEO S-03 (150)	150	4,4	34,9	Monocristalino	-0,35%
ALEO S-03 (155)	155	4,4	35,3	Monocristalino	-0,35%
ALEO S-03 (160)	160	4,5	35,4	Monocristalino	-0,35%
ALEO S-03 (165)	165	4,6	35,5	Monocristalino	-0,35%
ALEO S-03 (170)	170	4,8	35,6	Monocristalino	-0,35%
ALEO S-03 (175)	175	4,9	35,7	Monocristalino	-0,35%
ALEO S-17 (170)	170	7,5	22,6	Monocristalino	-0,34%
ALEO S-17 (175)	175	7,6	23,1	Monocristalino	-0,34%
ALEO S-17 (180)	180	7,6	23,6	Monocristalino	-0,34%
ALEO S-17 (185)	185	7,7	24,1	Monocristalino	-0,34%
ALEO S-17 (190)	190	7,7	24,6	Monocristalino	-0,34%
STM220 F	220	5,5	40,0	Monocristalino	-0,34%

Tabla 2 Características eléctricas de los distintos paneles fotovoltaicos monocristalinos (Elaboración propia)

<i>MÓDULO</i>	<i>Ancho [m]</i>	<i>Alto [m]</i>	<i>Profundo [m]</i>	<i>Peso [kg]</i>
ALEO S-03 (150)	0,800	1,600	0,0500	16,0
ALEO S-03 (155)	0,800	1,600	0,0500	16,0
ALEO S-03 (160)	0,800	1,600	0,0500	16,0
ALEO S-03 (165)	0,800	1,600	0,0500	16,0
ALEO S-03 (170)	0,800	1,600	0,0500	16,0
ALEO S-03 (175)	0,800	1,600	0,0500	16,0
ALEO S-17 (170)	0,830	1,660	0,0500	17,0
ALEO S-17 (175)	0,830	1,660	0,0500	17,0
ALEO S-17 (180)	0,830	1,660	0,0500	17,0
ALEO S-17 (185)	0,830	1,660	0,0500	17,0
ALEO S-17 (190)	0,830	1,660	0,0500	17,0
STM220 F	0,798	1,559	0,0460	16,5

Tabla 3 Características físicas de los distintos paneles fotovoltaicos monocristalinos (Elaboración propia)

Como se puede ver en las tablas, el coeficiente de temperatura es un valor que muestra la eficiencia que se pierde por cada grado que se aumente a partir de los 25°C. Por esa razón, lo que más interesa es que este coeficiente sea lo más pequeño posible en valor absoluto, para que haya menos pérdida en la eficiencia del panel. De esta forma, la elección se rebaja a la siguiente tabla:

<i>MÓDULO</i>	<i>Potencia</i> [W]	<i>I_{mp}</i> [A]	<i>V_{mp}</i> [V]	<i>Material</i>	<i>Coef T^a</i>
ALEO S-17 (170)	170	7,5	22,6	Monocristalino	-0,34%
ALEO S-17 (175)	175	7,6	23,1	Monocristalino	-0,34%
ALEO S-17 (180)	180	7,6	23,6	Monocristalino	-0,34%
ALEO S-17 (185)	185	7,7	24,1	Monocristalino	-0,34%
ALEO S-17 (190)	190	7,7	24,6	Monocristalino	-0,34%
STM220 F	220	5,5	40,0	Monocristalino	-0,34%

Tabla 4 Características eléctricas de los paneles con menor coeficiente de temperatura (Elaboración propia)

Como se quiere un módulo con la máxima potencia posible, se escogerá el módulo STM220 F de 220W. Las especificaciones técnicas y físicas se obtienen de la base de datos de Excel en forma de tabla:

MODELO STM220 F		
Largo	0,798	m
Alto	1,559	m
Profundo	0,0460	m
Peso	16,50	kg
Fabricante	SUNTECHNICS	
Célula	6" (156x156)	
Material	Monocristalino	

Figura 37 Características físicas del modelo escogido

MODELO STM220 F		
Potencia Nominal	220	Wp
I_{cc}	5,95	A
I_{mp}	5,50	A
V_{oc}	47,75	V
V_{mp}	40,00	V
V_{oc}(-10 °C)	52,54	V
Coef T^a	- 136,80	mV/°C
TONC	48,50	°C
CLASE II	1.000,00	V

Figura 36 Características eléctricas del modelo escogido

Para saber el número de paneles aproximados que se van a utilizar en la instalación, hace falta dividir la potencia mínima de la instalación para cubrir el 75% de la demanda entre la potencia de un panel fotovoltaico:

Ecuación 7

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{20202,54 \text{ W}}{220 \text{ W}} = 91,83 = 92 \text{ paneles}$$

7.4 ELECCIÓN DEL INVERSOR

A la hora de escoger el inversor, se debe tener en cuenta que su potencia debe ser mayor a la potencia de los paneles fotovoltaicos. Por tanto, la potencia del inversor de la instalación deberá ser mayor a los 20202,54 W. A su vez, es preferible que el valor se ajuste lo máximo posible a ese valor, ya que de esta forma el inversor trabaja cerca de sus valores nominales de potencia, y eso mejora el rendimiento.

Los posibles inversores de la base de datos que cumplan estas características son los siguientes:

MODELO	FABRICANTE	Potencia nominal	V _{pmp} mínima	V _{pmp} máxima	V máx admitida	V arranque
INVERSOR III 30 kW	ENERTRON	30000	450	750	900	710
INGECON SUN 25	INGETEAM	25000	420	750	900	420
SINVERT 30 kW	SIEMENS	26000	450	750	900	390

Tabla 5 Características eléctricas de los distintos inversores (Elaboración propia)

Estos son los modelos que más se aproximan a la potencia necesaria para cubrir el 75% de la demanda de la vivienda. Después de varias iteraciones, el único inversor que permite cubrir dicha demanda es el del fabricante Enertron, el INVERSOR III 30 kW, con una potencia nominal de 30000 W. Su rendimiento es del 95,49%.

En la siguiente tabla se pueden ver las características del inversor:

MODELO	INVERSOR III 30 kW	
FABRICANTE	ENERTRON	
Potencia Nominal	30.000	W
V _{pmp} mínima	450	V
V _{pmp} máxima	750	V
V máx admitida	900	V
Potencia PV máx	37.000	W _p
I máx	82	A
V arranque	710	V
V parada	-	V

Figura 38 Características eléctricas del inversor escogido

7.5 SOPORTES

Para escoger los soportes de las placas solares, se deben tener en cuenta tanto la superficie de la azotea como el ángulo de inclinación. Por tanto, deben de ser compatibles para una superficie plana y un ángulo de inclinación de $32,26^\circ$.

Dado que los fabricantes de estos soportes para los paneles fotovoltaicos fabrican sus piezas con ángulos estándar, como pueden ser, 10° , 20° , 30° o 35° , se va a optar por el uso de soportes con la opción de inclinación variable. Además, dado que es una estructura exterior, los materiales que lo componen deberán ser anticorrosivos para evitar que se oxiden en el exterior a cause de lluvias, por ejemplo.

Se ha escogido un soporte con inclinación variable entre 30° y 45° , para así poder sacar el máximo rendimiento y poder aproximarse lo más posible a los $32,26^\circ$.



Figura 39 Imagen de un soporte triangular de inclinación variable [42]

7.6 SEPARACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Una vez se han escogido los paneles fotovoltaicos que se usarán en el proyecto, se puede calcular la distancia que tiene que haber entre placa y placa para aprovechar al máximo la radiación solar. [43]

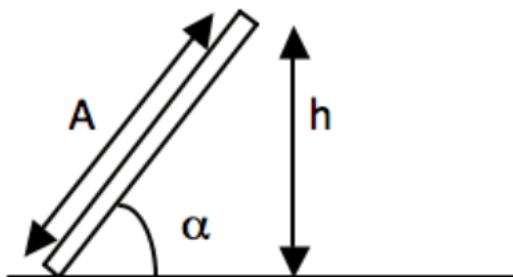


Figura 40 Vista de perfil de un panel fotovoltaico [44]

Para calcular el valor h que se puede ver en la figura, se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 8

$$h = A * \sin \alpha$$

Donde A es la altura del panel (1,559 m) y α es el ángulo de inclinación, en este caso $32,26^\circ$.

Ecuación 9

$$h = 1,559 * \sin 32,26 = 0,83 \text{ m}$$

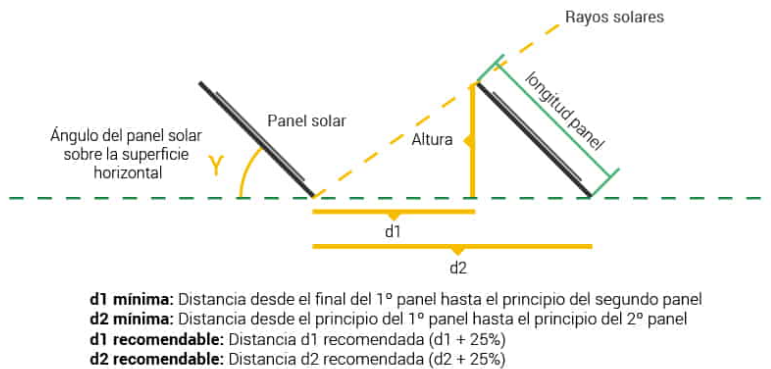


Figura 41 Esquema para el cálculo del espacio necesario para el sistema fotovoltaico [45]

Finalmente, para calcular la distancia entre paneles, d1 en la figura anterior, se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 10

$$d = k * h$$

Donde k es un coeficiente cuya expresión es:

Ecuación 11

$$k = \frac{1}{\tan(61 - \text{Latitud})} = \frac{1}{\tan(61 - 41,39)} = 2,81$$

Por lo que la distancia entre paneles es la siguiente:

Ecuación 12

$$d = 2,81 * 0,83 = 2,34 \text{ m}$$

7.7 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE LA INSTALACIÓN

Para poder cubrir la demanda suficiente, no se puede escoger un sistema que cubra las necesidades mínimas. Para poder suministrar la energía necesaria para cumplir con los objetivos del proyecto, se deben tener en cuenta las posibles pérdidas que existan en la instalación utilizada. A continuación se hará una estimación del rendimiento total, para que a la hora de tener en cuenta dichas pérdidas, la energía restante producida sea suficiente para cubrir la demanda necesaria. [46]

- *Pérdidas por la inclinación y la orientación*

Como se ha comentado anteriormente, la inclinación y la orientación de los paneles fotovoltaicos afecta directamente en la eficiencia de la instalación. Para calcular dichas pérdidas, se utilizará el procedimiento establecido por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). [47]

Para saber cuál es el rango en el que se encuentra el valor numérico de las pérdidas, se utiliza la siguiente figura:

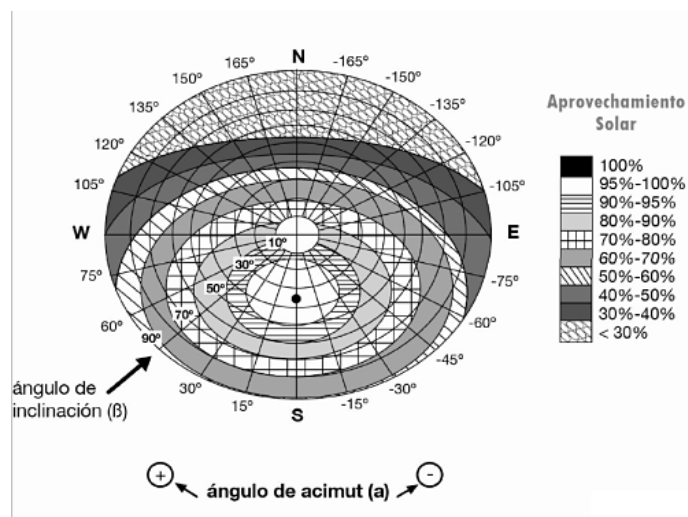


Figura 42 Aprovechamiento solar según el ángulo de inclinación y del ángulo de acimut [48]

A partir del ángulo de azimut (los radios de las circunferencias) y del ángulo de inclinación (los círculos concéntricos), se puede ver en qué zona y qué rango tiene la instalación en cuestión. En el caso de este proyecto, se cuenta con un ángulo azimut de 0° y un ángulo de inclinación de 32° aproximadamente. En este caso, el punto donde se encuentra la instalación es en la zona blanca, que eso significa que tiene unas pérdidas entre el 0% y el 5%.

Ahora que se sabe el rango de las pérdidas debidas a la inclinación y orientación, se procede a calcular el valor más exacto de dichas pérdidas. Según la IDAE, la fórmula a emplear es la siguiente:

Ecuación 13

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 * [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 * 10^{-5} * \alpha^2]$$

$$\text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

Siendo α el ángulo de azimut, β el ángulo de inclinación y ϕ la latitud. De esta forma, las pérdidas causadas por la inclinación y la orientación de los módulos son:

Ecuación 14

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 * [1,2 * 10^{-4} * (32,26 - 41,39 + 10)^2 + 3,5 * 10^{-5} * 0^2] = 0,01\%$$

Teniendo en cuenta que la precisión exacta de la inclinación de los paneles es muy complicada de conseguir, se asumirán unas pérdidas de 0,05%, que entra dentro del rango calculado anteriormente, siendo así un valor más conservador.

- *Pérdidas por obstrucción*

El polvo y la suciedad son un factor a tener en cuenta a la hora de hablar sobre rendimiento de una instalación fotovoltaica.

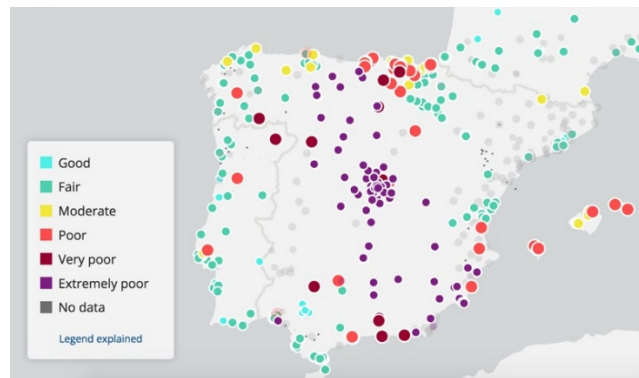


Figura 43 Mapa de la calidad del aire en España [49]

Como se puede observar, la zona donde se encuentra la instalación tiene una calidad del aire razonablemente buena, por lo que las pérdidas debidas a este fenómeno no serán exageradamente grandes. Se asume que las pérdidas debidas a la obstrucción son del 1,5%.

- *Pérdidas por sombras*

Como es evidente, al tratarse de energía lumínica, deben de tenerse en cuenta las pérdidas causadas por las sombras. [47] Para calcularlas, es necesaria la siguiente figura:

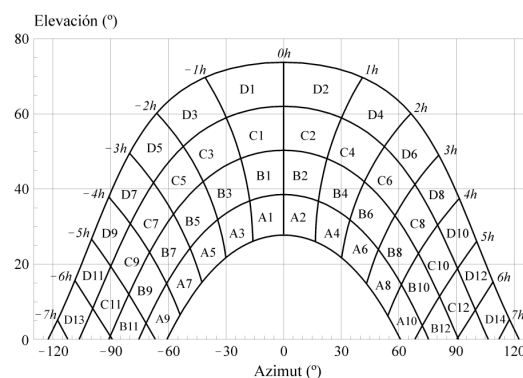


Figura 44 Diagrama de la trayectoria solar [47]

Como la instalación tiene un ángulo de azimut de 0° (eje horizontal) y un ángulo de inclinación de 32° (eje vertical), se debe tomar el valor de las pérdidas de las casillas A1 o A2.

A partir de la siguiente imagen, se puede obtener el valor de las pérdidas:

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	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

Figura 45 Tabla de valores de las pérdidas según la inclinación del panel [47]

Por tanto, las pérdidas debidas al sombreado son de aproximadamente el 3,16%.

- *Pérdidas por temperatura*

Para poder calcular las pérdidas debidas a la temperatura, se usa el siguiente procedimiento:
[50]

Ecuación 15

$$\Delta T^a = 0,034 * I - 4$$

Donde I es la potencia en W/m^2 que produce la luz del Sol. Este valor, en Barcelona, es el siguiente:

Ecuación 16

$$I = \frac{\text{Energía [kWh]} / \text{Superficie [m}^2\text{]}}{\text{Horas de Sol al año [h]}} = \frac{1370 \text{ kWh/m}^2}{2477 \text{ h}} = 553,1 \text{ W/m}^2$$

Por lo que el incremento de temperatura es:

Ecuación 17

$$\Delta T^a = 0,034 * 553,1 - 4 = 14,81^\circ C$$

Para continuar, es necesario saber la temperatura promedio de Barcelona en un año:

MES	$T^a [^\circ C]$
Ene	8
Feb	9
Mar	11
Abr	14
May	17
Jun	21
Jul	24
Ago	24
Sep	21
Oct	17
Nov	12
Dic	9
$\overline{T^a}$	15,6

Tabla 6 Promedio de temperaturas en Barcelona a lo largo de un año (Elaboración propia)

A partir de este dato, se obtienen las pérdidas debidas a la temperatura:

Ecuación 18

$$\text{Pérdidas (\%)} = \text{Coeficiente de } T^a * (\Delta T^a + \overline{T^a} - 25^{\circ}\text{C})$$

Ecuación 19

$$\text{Pérdidas (\%)} = -0,34 * (14,81 + 15,6 - 25) = -1,84\%$$

Por lo que se obtienen unas pérdidas del 1,84%.

- *Pérdidas del inversor*

El inversor escogido para el proyecto, el INVERSOR III 30 kW, tiene un rendimiento del 95,49%, por lo que sus pérdidas son del 4,51%.

- *Pérdidas cableado*

Las pérdidas del cableado suelen rondar el 2%, por lo que se asumirán unas pérdidas del 2%.

- *Pérdidas potencia nominal*

Dependiendo del tipo de panel que se utilice, este valor variará. En este caso, se tomará un valor de pérdidas del 1,5%.

- *Pérdidas de los módulos*

Estas suelen rondar entre el 0,01% y el 3%, pero por lo general se toma un 2% como valor. Por tanto, en este proyecto se asumirán unas pérdidas debidas a los módulos del 2%.

- ***Pérdidas totales***

Por tanto, las pérdidas totales son las siguientes:

Ecuación 20

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas totales (\%)} &= 0,05\% + 1,5\% + 3,16\% + 1,84\% + 4,51\% + 2\% + 1,5\% + 2\% \\ &= 16,56\% \end{aligned}$$

Quedando, de esta forma, un rendimiento del:

$$\eta = 83,44\%$$

7.8 DISPOSICIÓN DE LOS MÓDULOS

Una vez se ha calculado el rendimiento de la instalación, que es del 83,44%, se debe buscar la mejor configuración de la instalación fotovoltaica para que pueda suministrar el 75% de la demanda. A partir del Excel que contiene todos los datos sobre los módulos e inversores, se pueden probar distintas configuraciones para ver si son compatibles con la instalación. Una vez fijados el tipo de módulo y el inversor, se procede a buscar la mejor opción en la configuración en serie y en paralelo.

Para este apartado es necesario tener en cuenta ciertos valores, como son la tensión de circuito abierto, la corriente de cortocircuito, la potencia instalada o la potencia del inversor. En la siguiente figura se puede ver la interfaz del Excel utilizado con la configuración que se va a emplear en la instalación. Este archivo ofrece la posibilidad de seleccionar la localidad donde se encuentra el emplazamiento, que en este caso se ha seleccionado Barcelona.

CONFIGURADOR DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS DE CONEXIÓN A RED *

MÓDULO GAMESA SOLAR

STM 220 F

Número Series: 16

Número Paralelos: 10

PROPIEDADES ELÉCTRICAS MÓDULO

MODELO	STM220 F	Wp
Potencia Nominal	220	Wp
Icc	5,95	A
Ipmp	5,50	A
Voc	47,75	V
Vpmp	40,00	V
Voc(-10 °C)	52,54	V
Coef T°	- 136,80	mV/°C
TONC	48,50	°C
CLASE II	1.000,00	V

PROPIEDADES FÍSICAS MÓDULO

MODELO	STM220 F	
Largo	0,798	m
Alto	1,559	m
Profundo	0,0460	m
Peso	16,50	kg
Fabricante	SUNTECHNICS	
Célula	6" (156x156)	
Material	Monocrystalino	

MODELO INVERSOR

INVERSOR III 30 kW

Número inversores: 1

PROPIEDADES ELÉCTRICAS INVERSOR

MODELO	INVERSOR III 30 kW	W
Potencia Nominal	30.000	W
Vpmp mínima	450	V
Vpmp máxima	750	V
V máx admitida	900	V
Potencia PV máx	37.000	Wp
I máx	82	A
V arranque	710	V
V parada	-	V

TIPO INSTALACIÓN: Fija

Emplazamiento: BARCELONA

PRODUCCION ESTIMADA

CONFIGURACION ESPACIAL

CAMPO FOTOVOLTAICO

Número Módulos: 160 m2

40 24 por fila

CONFIGURACIÓN ELÉCTRICA

Icc	59,50	A	O.K.
Ipmp	55,00	A	O.K.
Voc	764,00	V	O.K.
Vpmp	640,00	V	O.K.
Voc (-10 °C)	840,61	V	O.K.

POTENCIA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

10.982 146.432

Potencia Instalada	35.200	Wp	O.K.
Potencia Inversores	30.000	W	
Ratio Wp/W	17,33%	O.K.	

T° mínima módulo (°C): 19

Voc módulo	48,57	V	
Voc generador	777,13	V	O.K.

T° máxima módulo (°C): 70

Voc módulo	41,59	V	
Voc generador	665,50	V	O.K.

Superficie módulos: 199 m2

Peso total	2.640	kg
T° amb media sup	23,0	°C
T° amb media inf	8,8	°C
TONC (T° amb media sup)	59	°C

* La configuración obtenida debe interpretarse como una aproximación. En caso de duda consultar con el fabricante del inversor.

resistencia 12,60504202

Figura 46 Configuración final de la instalación fotovoltaica

Como se puede ver, con una configuración de tres ramas en paralelo con nueve módulos cada una, es decir, un total de 130 módulos, se obtiene una potencia instalada de 35200 W, pero teniendo en cuenta el rendimiento, la instalación sería capaz de generar 29370,88 W aproximadamente, que es más que suficiente para cubrir los 20202,54 W que se debían cubrir para cumplir con el objetivo del 75% de la demanda.

Como se ha visto en la elección del módulo, eran necesarios 92 paneles para poder suministrar dicha energía, pero sin tener en cuenta el rendimiento de la instalación. Una vez conseguida la configuración, se puede ver como el número de paneles aumenta a los 160.

7.9 PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El Excel que se está usando ofrece la posibilidad de visualizar la producción de la instalación mensualmente, introduciendo los valores escogidos, como son el número de paneles, la potencia de cada panel y el precio de venta del kWh producido. En este caso, viendo las diferentes compensaciones que ofrecen las compañías en Barcelona por verter energía producida a la red, se ha considerado una compensación de 0,115 €/kWh.

En la siguiente figura se puede ver la producción de la instalación fotovoltaica según la configuración escogida previamente.

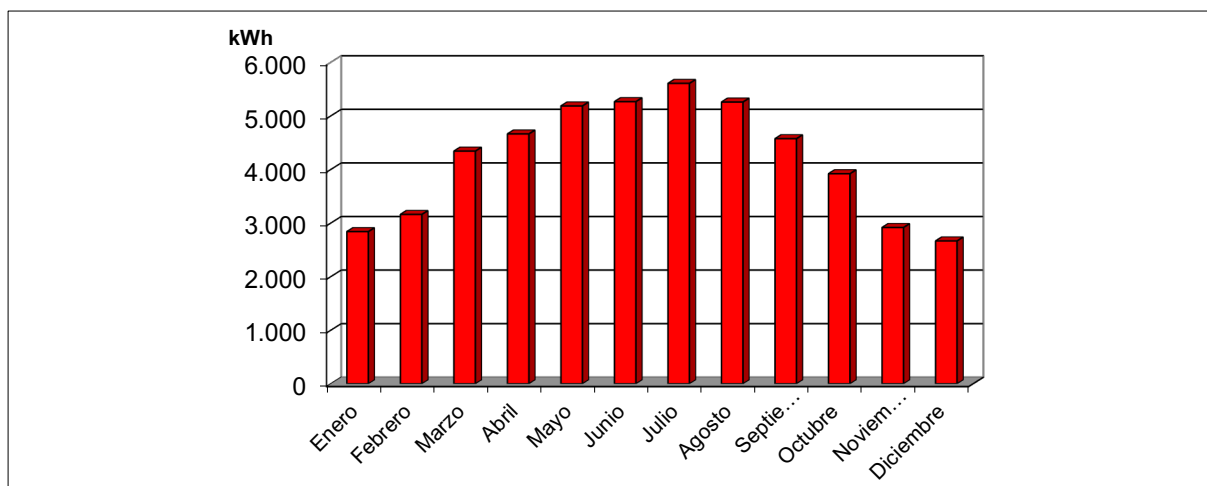


Figura 47 Producción [kWh/mes] del sistema fotovoltaico

A continuación, se puede calcular la producción total de la instalación para ver si se va a poder proporcionar el 75% de la demanda que se ha mencionado previamente.

Ecuación 21

$$\text{Producción mensual} = Wp * N^{\circ} \text{ módulos} * \eta * \text{Radiación Solar} * N^{\circ} \text{ días}$$

Teniendo en cuenta que la radiación es de:

<i>MES</i>	<i>RADIACIÓN SOLAR [kWh/m²]</i>
ENE	3,10
FEB	3,82
MAR	4,74
ABR	5,26
MAY	5,66
JUN	5,94
JUL	6,12
AGO	5,74
SEP	5,16
OCT	4,28
NOV	3,29
DIC	2,91

Tabla 7 Radiación solar en Barcelona a lo largo de los meses (Elaboración propia)

Por lo tanto, la producción será de 50399 kWh:

<i>Mes</i>	<i>Nº días</i>	<i>kWh/m²día</i>	<i>Producción kWh/mes</i>
Enero	31	3,1	2.839,79
Febrero	28	3,82	3.160,71
Marzo	31	4,74	4.342,14
Abril	30	5,26	4.663,05
Mayo	31	5,66	5.184,91
Junio	30	5,94	5.265,88
Julio	31	6,12	5.606,30
Agosto	31	5,74	5.258,20
Septiembre	30	5,16	4.574,40
Octubre	31	4,28	3.920,75
Noviembre	30	3,29	2.916,62
Diciembre	31	2,91	2.665,74
TOTAL	365	4,67	50.399

Tabla 8 Producción total anual de energía (Elaboración propia)

Sabiendo que la demanda total era de 66722,25 kWh en un año y la producción anual es de 50399 kWh, se puede cubrir el:

Ecuación 22

$$\text{Demanda cubierta (\%)} = \frac{50399 \text{ kWh}}{66722,25 \text{ kWh}} * 100 = \mathbf{75,54\%}$$

Gracias a la instalación fotovoltaica se va a evitar la emisión de diferentes gases de efecto invernadero, y con la siguiente imagen, que se ha sacado del Excel donde se tiene la base de datos, se puede ver la cantidad de gases (en kg) que se han evitado.

	Carbón	Ciclo Combinado
CO₂ (kg)	62.173,2	22.531,3
SO₂ (kg)	1.371,5	0,0
NOx (kg)	209,0	6,5
Energía	26,1	Hogares

Figura 48 Cantidad de CO2 emitida en kg que se evita

Como se puede ver, es un impacto muy positivo para el medio ambiente, ya que se está evitando el 75% de lo que se estaría contaminando sin la instalación de paneles fotovoltaicos.

Capítulo 8. ESTUDIO ECONÓMICO

8.1 INVERSIÓN INICIAL TOTAL

8.1.1 COSTE DE LOS COMPONENTES

Para poder estimar el coste que va a suponer la instalación, es necesario calcular el coste inicial de los componentes que la forman y la mano de obra. Para esta última, se ha estimado que el coste es de 60€/hora, y que se necesitan 30 horas por kW instalado, por lo que el coste de mano de obra es de 1800€, y al haber 30 kW de potencia instalada, el coste total será de 54000€. [51]

COMPONENTES	Unidades	Precio Unitario (€)	Total (€)
Módulos	160,00	139,00	22.240,00
Inversor	1,00	3.298,00	3.298,00
Estructura soporte	160,00	154,00	24.640,00
Contador bidireccional	1,00	312,00	312,00
Materiales variados	Mano alzada	5.000,00	5.000,00
Total componentes			55.490,00
Mano de Obra	30,00	1.800,00	54.000,00
		CONSTRUCCIÓN	109.490,00
		IVA (21%)	22.992,90
		Total Construcción	132.482,90

Tabla 9 Coste de los componentes de la instalación (Elaboración propia)

8.1.2 COSTE DE LOS PERMISOS

A parte de los componentes, se tienen en cuenta los costes de los siguientes permisos para poder construir la instalación. El impuesto ICIO es un tipo de impuestos que dictan los ayuntamientos de las ciudades que permite la realización de obras, construcciones e instalaciones. En el caso de Barcelona, el ICIO tiene un valor del 4% de la inversión inicial de la construcción (109490€). [52]

<i>PERMISOS</i>			
Certificado Solidez Estructural	Mano alzada	120,00	120,00
Legalización y boletín (OCA)	Mano alzada	3.448,00	3.448,00
IMPUESTO ICIO (4%)	4%	4.379,60	4.379,60
Total con subvención	Total Permisos		7.947,60

Tabla 10 Coste de los permisos de la instalación (Elaboración propia)

8.1.3 BONIFICACIONES

Los ayuntamientos suelen ofrecer bonificaciones de este tipo, para las construcciones o instalaciones que impulsan el emprendimiento o la economía. En el caso de Barcelona, las obras con aprovechamiento térmico o eléctrico de la energía solar, se pueden acoger a la bonificación del impuesto ICIO. [53]

<i>BONIFICACIONES</i>				
Bonificación 95% IMPUESTO ICIO	4%	4.379,60	-	4.379,60
Dos años bonificación 50% IBI	75,00	700,00	-	52.500,00
Total con subvención	Total Bonificaciones		-	56.879,60

Tabla 11 Bonificaciones (Elaboración propia)

8.1.4 COSTE INICIAL TOTAL

Como se puede ver en las anteriores tablas, la inversión inicial es de:

Ecuación 23

$$\text{Inversión inicial neta} = 132482,9 + 7947,6 - 56879,6 = \mathbf{83550,9€}$$

8.2 COSTES ANUALES

Los costes anuales, como son el mantenimiento de los materiales de la instalación, son los siguientes: [54]

<i>GASTOS OPERATIVOS ANUALES</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio Unitario (€)</i>	<i>Total (€)</i>
Inspección y limpieza de paneles	Manoalzada	500,00	500,00
Monitorización del sistema	Manoalzada	200,00	200,00
Revisión y mantenimiento inversores	Manoalzada	200,00	200,00
Reemplazo de componentes	Manoalzada	150,00	150,00
Seguros y licencias	Manoalzada	100,00	100,00
IVA	21%		241,50
		Total gastos anuales	1.391,50

Tabla 12 Costes anuales de la instalación (Elaboración propia)

8.3 INGRESOS ANUALES

Para este apartado, se va a asumir que el precio de la energía es constante, y más adelante, se hará un estudio de cómo afecta el precio de la energía.

<i>CONSUMO VIVIENDAS</i>	<i>Consumo KWh</i>	<i>Consumo (€)</i>	<i>Coste unitario (€/kWh)</i>	<i>Coste Potencia (€)</i>	<i>Impuestos</i>	<i>Total</i>
ago-22	8.000,00	3.077,75	0,38	375,50	237,50	3.690,75
sept-22	7.850,00	3.010,00	0,38	375,50	234,00	3.619,50
oct-22	5.800,00	2.219,25	0,38	375,50	190,25	2.785,00
nov-22	7.052,50	2.714,00	0,38	375,50	217,50	3.307,00
dic-22	6.233,50	2.328,50	0,37	375,50	196,25	2.900,25
ene-23	5.381,25	2.077,75	0,39	367,50	182,00	2.627,25
feb-23	4.445,00	1.734,00	0,39	367,50	163,00	2.264,50
mar-23	4.798,50	1.846,50	0,38	367,50	169,00	2.383,00
abr-23	4.674,00	1.801,25	0,39	367,50	166,50	2.335,25
may-23	3.847,00	1.464,50	0,38	367,50	148,00	1.980,00
jun-23	4.323,50	1.649,50	0,38	367,50	158,25	2.175,25
jul-23	6.037,50	2.303,42	0,38	367,50	182,08	2.853,00
Total	68.443	26.226	0		2.244	32.921

Tabla 13 Consumo mensual y anual de la vivienda de estudio (Elaboración propia)

Teniendo en cuenta el consumo de las zonas comunes, que se ha asumido que son un 5% del consumo total de la vivienda:

<i>ESTIMACIÓN ZONA COMÚN</i>	<i>Consumo KWh</i>	<i>Consumo (€)</i>
	3.422	1.300

Tabla 14 Estimación del consumo de la zona común de la vivienda (Elaboración propia)

El consumo anual total es:

<i>CONSUMO TOTAL</i>	<i>Consumo KWh</i>	<i>Consumo (€)</i>
	71.865	27.527

Tabla 15 Consumo total de la vivienda (Elaboración propia)

Al cubrirse el 75% aproximadamente del consumo anual, los ingresos totales anuales son:

Ecuación 24

$$\text{Ingresos anuales totales} = 20645\text{€}$$

8.4 RENTABILIDAD

Teniendo en cuenta todos los costes e ingresos anteriores, se obtiene el siguiente flujo de caja:

<i>Año</i>	<i>Inversión</i>	<i>Gasto</i>	<i>Ingreso</i>	<i>Cash Flow</i>	<i>Cash flow acumulado (payback)</i>
-	83.551			-	83.551
1		1.392	20.645	19.254	- 64.297
2		1.392	20.645	19.254	- 45.044
3		1.392	20.645	19.254	- 25.790
4		1.392	20.645	19.254	- 6.536
5		1.392	20.645	19.254	12.717
6		1.392	20.645	19.254	31.971
7		1.392	20.645	19.254	51.224
8		1.392	20.645	19.254	70.478
9		1.392	20.645	19.254	89.732
10		1.392	20.645	19.254	108.985
11		1.392	20.645	19.254	128.239
12		1.392	20.645	19.254	147.493
13		1.392	20.645	19.254	166.746
14		1.392	20.645	19.254	186.000
15		1.392	20.645	19.254	205.254
16		1.392	20.645	19.254	224.507
17		1.392	20.645	19.254	243.761
18		1.392	20.645	19.254	166.746
19		1.392	20.645	19.254	186.000
20		1.392	20.645	19.254	205.254
21		1.392	20.645	19.254	224.507
22		1.392	20.645	19.254	243.761
23		1.392	20.645	19.254	263.014
24		1.392	20.645	19.254	282.268
25		1.392	20.645	19.254	301.522

Tabla 16 Flujo de caja en un periodo de 25 años (Elaboración propia)

Como se puede ver, se necesitan algo más de cuatro años para recuperar la inversión inicial, siempre y cuando no haya cambios en la normativa de autoconsumo o cambios en los impuestos. A continuación se van a calcular valores como el VAR y el TIR.

8.4.1 VAN

El VAN es el Valor Actual Neto, que es la suma del cashflow descontado a la tasa de interés, que en este caso se ha utilizado un 5%. Se calcula de la siguiente forma: [55]

Ecuación 25

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

Donde F_t son los flujos de cada año t , I_o es la inversión inicial, n es el número de años y k es la tasa de interés. De esta forma se obtiene un VAN de:

Ecuación 26

$$VAN = 178865€$$

En la siguiente tabla se ha hecho un pequeño estudio donde se puede ver la variación del VAN según el porcentaje de sustitución de los paneles fotovoltaicos (75% durante el proyecto) y el precio de la energía.

Análisis de sensibilidad VAN (coste energía y % de sustitución)					
178.865	0,10	0,20	0,30	0,38	0,48
45%	62.231	64.298	66.366	68.019	70.086
50%	80.063	82.359	84.656	86.494	88.790
55%	97.894	100.420	102.947	104.968	107.494
60%	115.725	118.481	121.237	123.442	126.198
65%	133.557	136.542	139.528	141.917	144.902
75%	169.219	172.664	176.109	178.865	182.310

Tabla 17 Análisis de sensibilidad VAN según el % de energía sustituido (Elaboración propia)

Como se puede ver, a medida que el precio de la energía disminuye, el VAN es menor. Esto quiere decir que llegará un momento en el que el coste de la instalación será demasiado alto, y no será rentable la instalación fotovoltaica.

8.4.2 TIR

El TIR representa el número porcentual de la tasa de descuento que hace que la inversión inicial y los beneficios descontados sean iguales. Por tanto, interesa tener una tasa de descuento menor que el TIR, para poder sacar beneficios del proyecto. El TIR se calcula de la siguiente manera: [56]

Ecuación 27

$$TIR = \frac{-I_0 + \sum_{t=1}^n F_t}{\sum_{t=1}^n t * F_t}$$

Donde las variables que aparecen coinciden con las mencionadas anteriormente. Por tanto, el TIR que se obtiene es:

Ecuación 28

$$TIR = 23\%$$

Como se puede ver, es un valor mucho mayor al 5% utilizado, por lo que se obtienen beneficios. A parte, al igual que con el VAN, se ha hecho un pequeño estudio para el TIR:

<i>Análisis de sensibilidad TIR (coste energía y % de sustitución)</i>					
22,9%	0,10	0,20	0,30	0,38	0,48
25%	4%	4%	4%	4%	4%
35%	8%	8%	8%	9%	9%
45%	12%	12%	12%	12%	13%
55%	15%	16%	16%	16%	16%
65%	19%	19%	19%	20%	20%
75%	22%	22%	23%	23%	23%

Tabla 18 Análisis de sensibilidad TIR (Elaboración propia)

Capítulo 9. Seguridad y salud

Al tratarse de la construcción de una instalación fotovoltaica, se deben tener en cuenta ciertas normativas de seguridad y salud, ya que aparte de eso, se trata de una construcción con aparatos eléctricos de por medio. Por esa razón, debe haber una normativa establecida para cuando sea necesario hacer mantenimientos de la instalación. [57]

La Ley 31/1995 es la encargada de asegurar la prevención de riesgos laborales para los trabajadores en cuestión. También existen otros textos legislativos importantes que tratan la seguridad y la salud de los trabajadores, como son el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, el Reglamento de Seguridad e Higiene en la industria de la construcción o el Reglamento de los Servicios de Prevención.

Los riesgos más comunes en la instalación de un sistema fotovoltaico son caídas de herramientas o de los propios trabajadores, descargas eléctricas, entrada de partículas de polvo u otras sustancias en los ojos, cortaduras con elementos afilados o quemaduras provocadas por contactos térmicos.

- Las medidas que se tendrán que cumplir a la hora de la construcción de la instalación y de su mantenimiento son las siguientes:
- El montaje de los componentes de la instalación estará ejecutado por personas cualificadas y profesionales.
- Uso de casco obligatorio para las personas que participan en la construcción. Este deberá ser homologado según la Norma Técnica Reglamentaria del Ministerio del Trabajo.
- El calzado es de uso obligatorio y debe estar homologado según la Norma Técnica Reglamentaria MT 5.
- Los guantes también serán de uso obligatorio y homologados según la Norma Técnica Reglamentaria MT 4.
- Otros dispositivos de seguridad son: cinturones de seguridad, protectores de la vista, protectores auditivos y dispositivos anticaídas (como pueden ser arneses).

REFERENCIAS

- [1] «Evolución Mix Energético». [En línea]. Disponible en:
<https://www.smartgridsinfo.es/2018/09/14/perspectivas-sobre-transicion-energetica-2050-informe-dnv-gl>
- [2] «Instalación sistema energía eólica». [En línea]. Disponible en:
<https://i.ytimg.com/vi/vL21o05XlHw/maxresdefault.jpg>
- [3] «Instalación sistema energía hidroeléctrica». [En línea]. Disponible en:
<https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/fuentes-de-energia/energias-renovables/energia-hidraulica/>
- [4] «Instalación sistema energía de biomasa». [En línea]. Disponible en:
<https://www.microm-inc.com/works/generacion-de-energia-con-biomasa>
- [5] «Instalación sistema energía geotérmica». [En línea]. Disponible en:
<https://www.geotermiavertical.es/energia-geotermica/>
- [6] «Instalación sistema energía solar». [En línea]. Disponible en:
<https://www.helioesfera.com/autoconsumo-fotovoltaico/>
- [7] «Instalación sistema termoeléctrico». [En línea]. Disponible en:
<https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-solar-termoelectrica-en-el-planeta/>
- [8] «Funcionamiento de la conversión de energía en los paneles fotovoltaicos». [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/como-funcionan-placas-solares-fotovoltaicas>
- [9] «Paneles de silicio reforzados con átomos de diferente valencia». [En línea]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- [10] «Proceso conversión de energía». [En línea]. Disponible en:
https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/C%C3%A9lula_fotovoltaica
- [11] «Esquema funcionamiento sistema fotovoltaico». [En línea]. Disponible en:
<https://www.direnergy.net/index.php/blog/tipos-instalaciones-solares/>
- [12] «Esquema instalación fotovoltaica aislada». [En línea]. Disponible en:
<https://www.efiwatt.com/de/tender/detail/instalacion-solar-fotovoltaica-aislada>

- [13] «Tipos de paneles fotovoltaicos en el mercado». [En línea]. Disponible en:
<https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- [14] «Características panel fotovoltaico monocristalino». [En línea]. Disponible en:
<https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-monocristalinas/>
- [15] «Panel fotovoltaico monocristalino». [En línea]. Disponible en:
<https://www.archiexpo.es/prod/apricus/product-62598-2355015.html>
- [16] «Características panel fotovoltaico policristalino». [En línea]. Disponible en:
<https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-policristalinas/>
- [17] «Panel fotovoltaico policristalino». [En línea]. Disponible en:
<https://www.tiendaocanis.com/es/renovables-placas-solares-fotovoltaica-paneles-solares-fotovoltaicos/placa-solar-fotovoltaica-330w-policristalina-72-celulas>
- [18] «Panel fotovoltaico amorfo». [En línea]. Disponible en:
<https://automatismoindustrial.com/curso-energia-solar-fotovoltaica/componentes-energia-solar-fotovoltaica/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-2/>
- [19] «Características panel fotovoltaico amorfo». [En línea]. Disponible en:
<https://www.greenheiss.com/elementos-panel-solar/#:~:text=Los%204%20elementos%20en%20los,el%20aislante%20y%20la%20ca,rcasa.>
- [20] «Componentes de un panel fotovoltaico». [En línea]. Disponible en:
<https://autarquiapersonal.com/2021/05/16/paneles-solares-hibridos-caracteristicas-y-aplicaciones/>
- [21] «Funcionamiento conexión en serie». [En línea]. Disponible en:
<https://www.edpenergia.es/es/blog/energia-fotovoltaica/conexion-paneles-solares/>
- [22] «Conexión paneles en serie y en paralelo». [En línea]. Disponible en:
<https://www.edpenergia.es/es/blog/energia-fotovoltaica/conexion-paneles-solares/>
- [23] «Conexión paneles mixta (serie y paralelo)». [En línea]. Disponible en:
<https://www.prostarsolar.net/es/conexion-serie-paralelo-de-placas-solares.html>
- [24] «Tipos de inversores en un sistema fotovoltaico». [En línea]. Disponible en:
<https://www.mpvreference.com/post/qu%C3%A9-tipos-de-inversor-fotovoltaico-existen>
- [25] «Micro-inversor». [En línea]. Disponible en:
<https://www.technosun.com/es/inversores-solares/microinversores/>

- [26] «Inversor string». [En línea]. Disponible en: <https://www.pv-magazine-latam.com/2018/05/08/la-nueva-generacion-de-inversores-string-de-alta-potencia-reduce-el-lcoe-del-sistema-fotovoltaico-latinoamerica/>
- [27] «Diferencia de inversores ante fallo». [En línea]. Disponible en: <https://solbrick.com/microinversor-permite-autoconsumo-a-cualquier-escala/>
- [28] «Inversor central». [En línea]. Disponible en: <https://www.archiexpo.es/fabricante-arquitectura-design/inversor-central-7559.html>
- [29] «Soporte inclinación variable». [En línea]. Disponible en: <https://www.cambioenergetico.com/blog/seguidores-fotovoltaicos-solo-eje/>
- [30] «Soporte inclinación fija». [En línea]. Disponible en: https://es.sunforson.com/soportes-de-montaje-solar-de-ngulo-fijo_p33.html
- [31] «Sistemas de almacenamiento de energía». [En línea]. Disponible en: <https://powen.es/tipos-almacenamiento-energia-fotovoltaica/>
- [32] «Batería monobloque». [En línea]. Disponible en: <https://www.saclimafotovoltaica.com/energia-solar/baterias-monoblock-saclima-12-v/>
- [33] «Baterías estacionarias». [En línea]. Disponible en: <https://ecofener.com/blog/saber-capacidad-tipo-baterias-mas-conviene-caso/>
- [34] «Baterías de litio». [En línea]. Disponible en: <https://bateriasyamperios.com/producto/bateria-litio-12-8v-7ah-kaise/>
- [35] «contador bidireccional». [En línea]. Disponible en: <https://solbrick.com/funcionamiento-del-contador-bidireccional-en-instalaciones-fotovoltaicas/>
- [36] «Esquema básico de una instalación fotovoltaica conectada a la red». [En línea]. Disponible en: <https://www.cteep.com/energia-solarsolar-fotovoltaica/componentes-de-una-instalacion-fotovoltaica/>
- [37] «Normativa para instalaciones fotovoltaicas».
- [38] «Mapa de radiación solar en España». [En línea]. Disponible en: <https://queremosverde.com/inercol-calefaccion-solar-produce-calor-sin-consumir-energia/mapa-radiacion-solar-espan%CC%83a/>
- [39] «Ángulo azimut». [En línea]. Disponible en: <https://esostenibles.com/?p=328>

- [40] «Ángulo de inclinación». [En línea]. Disponible en:
<https://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/46262-inclinacion-variable-los-paneles.html>
- [41] «Rendimiento panel según la orientación». [En línea]. Disponible en:
<https://atersa.shop/como-orientar-paneles-solares/>
- [42] «Soporte triangular de inclinación variable». [En línea]. Disponible en:
<https://www.rebacas.com/estructuras-paneles-solares/1360-estructura-regulable-1-panel-solar-20-35-suelo.html>
- [43] «Separación óptima de los paneles fotovoltaicos». [En línea]. Disponible en:
<https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>
- [44] «Esquema de perfil de un panel fotovoltaico». [En línea]. Disponible en:
<https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>
- [45] «Espacio necesario para el sistema fotovoltaico». [En línea]. Disponible en:
<https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/cuanto-espacio-se-necesita-para-una-estructura-de-un-panel-solar>
- [46] «Cálculo de las pérdidas en la instalación». [En línea]. Disponible en:
<https://www.pv-magazine.es/2023/03/02/guia-para-entender-las-perdidas-en-la-produccion-solar/>
- [47] «Pérdidas debidas a la inclinación, a la orientación y a las sombras». [En línea]. Disponible en:
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf
- [48] «Aprovechamiento solar según el ángulo de inclinación y del ángulo de azimut». [En línea]. Disponible en: <https://certificacionenergetica.info/perdidas-por-inclinacion-y-orientacion/>
- [49] «Mapa de la calidad del aire en España». [En línea]. Disponible en:
<https://www.businessinsider.es/mapa-calidad-aire-espana-calima-1028459>
- [50] «Pérdidas por temperatura». [En línea]. Disponible en:
<https://www.cambioenergetico.com/blog/influye-la-temperatura-rendimiento-placa-solar/>
- [51] «Precios componentes instalaciones fotovoltaicas». [En línea]. Disponible en:
<https://albasolar.es/wp-content/uploads/2016/11/Cat%C3%A1logo-Albasolar.pdf>

- [52] «Permisos instalaciones fotovoltaicas». [En línea]. Disponible en: <https://ajuntament.barcelona.cat/hisenda/es/tramites-gestiones/icio-impuesto-sobre-construcciones-instalaciones-y-obras?profile=1>
- [53] «Bonificaciones y ayudas del estado». [En línea]. Disponible en: <https://www.energia.barcelona.es/generar-energia/generar-energia/ayudas-y-bonificaciones#:~:text=Actualmente%2C%20el%20descuento%20en%20el,de%20la%20licencia%20de%20obras.>
- [54] «Coste de mantenimiento de una instalación fotovoltaica». [En línea]. Disponible en: <https://solarfam.com/que-son-los-costes-operativos-de-una-instalacion-fotovoltaica/>
- [55] «Cáclulo del Valor Actual Neto (VAN)». [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- [56] «Tasa Interna de Retorno (TIR)». [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- [57] «Seguridad y salud». [En línea]. Disponible en: <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/plan-seguridad-salud-instalaciones-fotovoltaicas-autoconsumo>

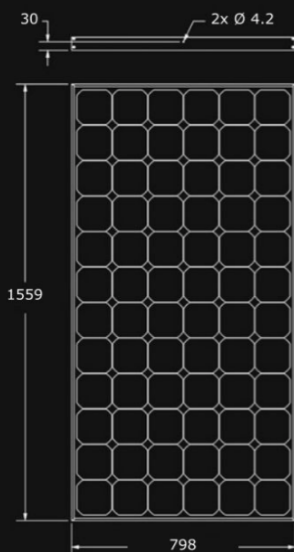
ANEXOS

ANEXO I: FICHA TÉCNICA MÓDULO

- 210/220 Wp Nennspitzenleistung bei STC
- +/- 3 % Leistungstoleranz
- 20 % Zelleffizienz Minimum
- 25 Jahre Garantie auf 80 % der Minimalleistung
- 10 Jahre Produktgarantie
- 72 monokristalline Rückseitenkontakt-Zellen
- Multi-Contact-Stecker
- Rahmen: Aluminium schwarz-eloxiert
- Abmessungen: 1559 x 798 x 46 mm (L/B/T)
- Gewicht: 16,5 kg
- Schutzart Anschlussdose: IP 65
- Zertifikate: IEC 61215,
Schutzklasse II bis maximal 1000 V

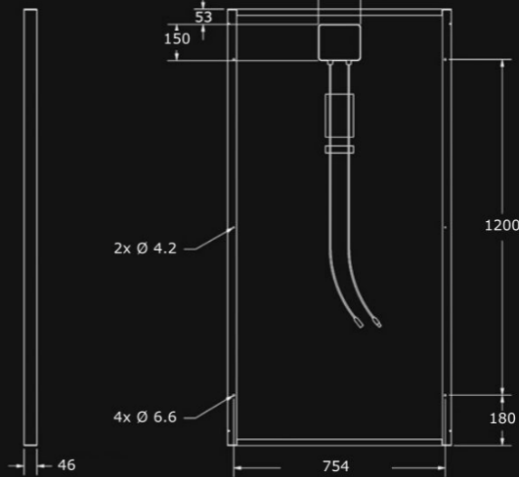
**STM 210 und STM 220 –
exklusiv von SunTechnics.**

	STM 210 FBS	STM 210 FWS	STM 220 FWS
Bei 1000 W/m² (STC)			
P _{max}	210 W	210 W	220 W
I _{sc}	5,85 A	5,75 A	5,95 A
U _{oc}	47,65 V	47,7 V	47,75 V
U _{mpp}	40,0 V	40,0 V	40,0 V
I _{mpp}	5,25 A	5,25 A	5,5 A
Bei 800 W/m² (NOCT, AM 1,5)			
P _{max}	150 W	150 W	163,4 W
I _{sc}	4,5 A	4,5 A	4,8 A
U _{oc}	43,8 V	43,8 V	44,5 V
U _{mpp}	36,2 V	36,2 V	36,8 V
I _{mpp}	4,15 A	4,15 A	4,4 A
NOCT	50,5 °C	48,5 °C	48,5 °C
Temperaturkoeffizienten für I _{sc}	2,27 mA/°C	2,27 mA/°C	2,27 mA/°C
Temperaturkoeffizienten für U _{oc}	-0,1368 V/°C	-0,1368 V/°C	-0,1368 V/°C
P _{max} (bei 200 W/m², 25 °C, AM 1,5)	40 W	40 W	N/A
Max. zulässige Systemspannung	1000 V	1000 V	1000 V



Die Vorderansicht des STM 210 / 220

Alle Angaben in Millimeter [Inches]



Die Seitenansicht des STM 210 / 220

Die Rückansicht des STM 210 / 220

20-114-313/11-2006 © SunTechnics
Technische Änderungen vorbehalten.

SunTechnics GmbH
Anckelmannsplatz 1 | D-20537 Hamburg
Tel. +49-40-23 62 08 0 | Fax +49-40-23 62 08 222
info@SunTechnics.com | www.SunTechnics.com



Geprüfte Qualität für
• Beratung
• Planung
• Komponentenauswahl
• Installation
• Serviceleistungen
von netzgekoppelten
Solarstromanlagen

ANEXO II: FICHA TÉCNICA INVERSOR

	BG20KTR	BG25KTR	BG30KTR	BG33KTR	BG35KTR	BG40KTR-HV	BG50KTR-HV
Input (DC)							
Max. DC Input power (W)	20800	28000	33000	36000	36000	42800	53000
Max. DC Input voltage (V)	1000						1100
Starting voltage (V) / Min. operation voltage (V)	300/280						200/180
MPPT range (V)	280-800						200-900
Number of MPPT / String per MPPT	2/3				2/4		2/5
Max. DC current (A) per MPPT x Number of MPPT	25x2	30x2	33x2	33x2	33x2	33x2	42x2
Output (AC)							
Rated output power (W)	20000	25000	30000	33000	35000	40000	50000
Max. AC output current (A)	32	40	48	48	48	48	63
Power factor	-0.8~+0.8(adjustable)						
THDI	<3%(at rated power)						
Nominal output voltage (V) / Frequency	230/400V,220/380V, 3L+N+PE/3L+PE, 50Hz/60Hz					277/480V, 3L+N+PE/3L+PE, 50Hz/60Hz	310/540V, 3L+N+PE/3L+PE, 50Hz/60Hz
Efficiency							
Max. efficiency	98.40%	98.40%	98.50%	98.50%	98.50%	98.60%	98.60%
Euro-efficiency	98.00%	98.00%	98.00%	98.10%	98.10%	98.20%	98.20%
MPPT efficiency	99.90%						
Protection							
Protection	DC breaker, AC short-circuit protection, Over current protection, Over voltage protection, Isolation protection, ROD, Surge protection, Anti-island protection, Over-temperature protection, Ground fault monitoring, etc.						
General data							
Display	3.5 inches LOD display, support backlit display						LED display
LOD language	English, Chinese, German, Dutch						/
Communication interface	RS485(standard); WiFi, Ethernet(optional)						RS485(standard), WiFi, Ethernet(optional), PLC carrier communication (optional)
Cooling method	Smart cooling						
Protection degree	IP65						
Night self-consumption (W)	<0.5						
Topology	Transformerless						
Operating temperature range	-25°C~+60°C(derate after 45°C)						
Relative humidity	4~100%, condensation						
Dimension (H x W x D mm)	660x520x250						645x680x425
Weight (kg)	52						57
Grid qualification	DIN VDE 0126-1-1:2013, VDE-AR-N 4105:2011, DIN VDE V 0124-100:2012, IEC 61727 (IEC62116) , AS/NZS 4777.2:2015, NB/T32004-2013, IEC 60088-2-1:2007, IEC 60088-2-2:2007, IEC 60088-2-14:2009, IEC 60088-2-30:2005, IEC 61683:1999, C10/11:2012, G59/3-2:2015, EN 50438:2013, Leader, ZV/RT, PEA						
Safety certificate / EMC certificates	IEC 62109-1:2010, IEC 62109-2:2011, EN 61000-6-2:2005, EN 61000-6-3:2007/A1:2011						
Warranty (years)	5(standard)/10(optional)						

ANEXO III: FICHA TÉCNICA SOPORTE



KT-100

Kit Térmico Inclinado

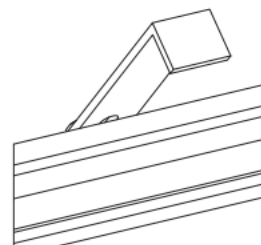
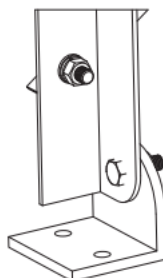
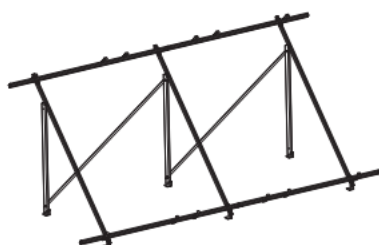


- Sistema universal
- Inclinação 30°-45°
- Perfilieria y accesorios de Aluminio
- Tornilleria de Acero Inox AISI 304
- Fácil montaje
- Opción de incluir tornilleria de anclaje a cubierta
- Suministro con embalaje
- Garantía de 10 años

AI

SS

Referencia	Descripción	Características
KT-100	Kit Térmico Inclinado 30°-45°	Existencias de 1 a 6 módulos



OFFICIAL DISTRIBUIDOR

FH Solar & Led Ibérica | info@fhsolarled.com | www.fhsolarled.com
Colombia / México / España / Ecuador



+34 913235993

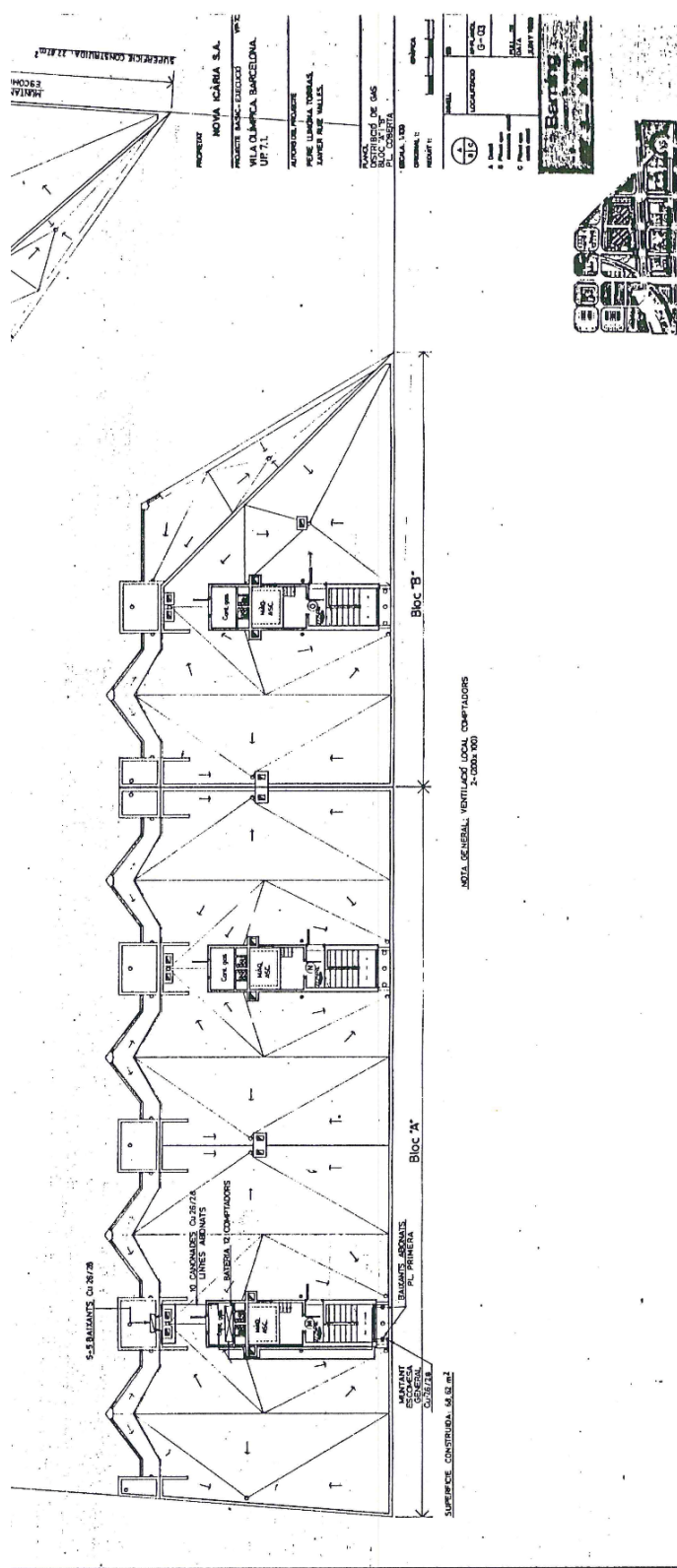


+34 600027027

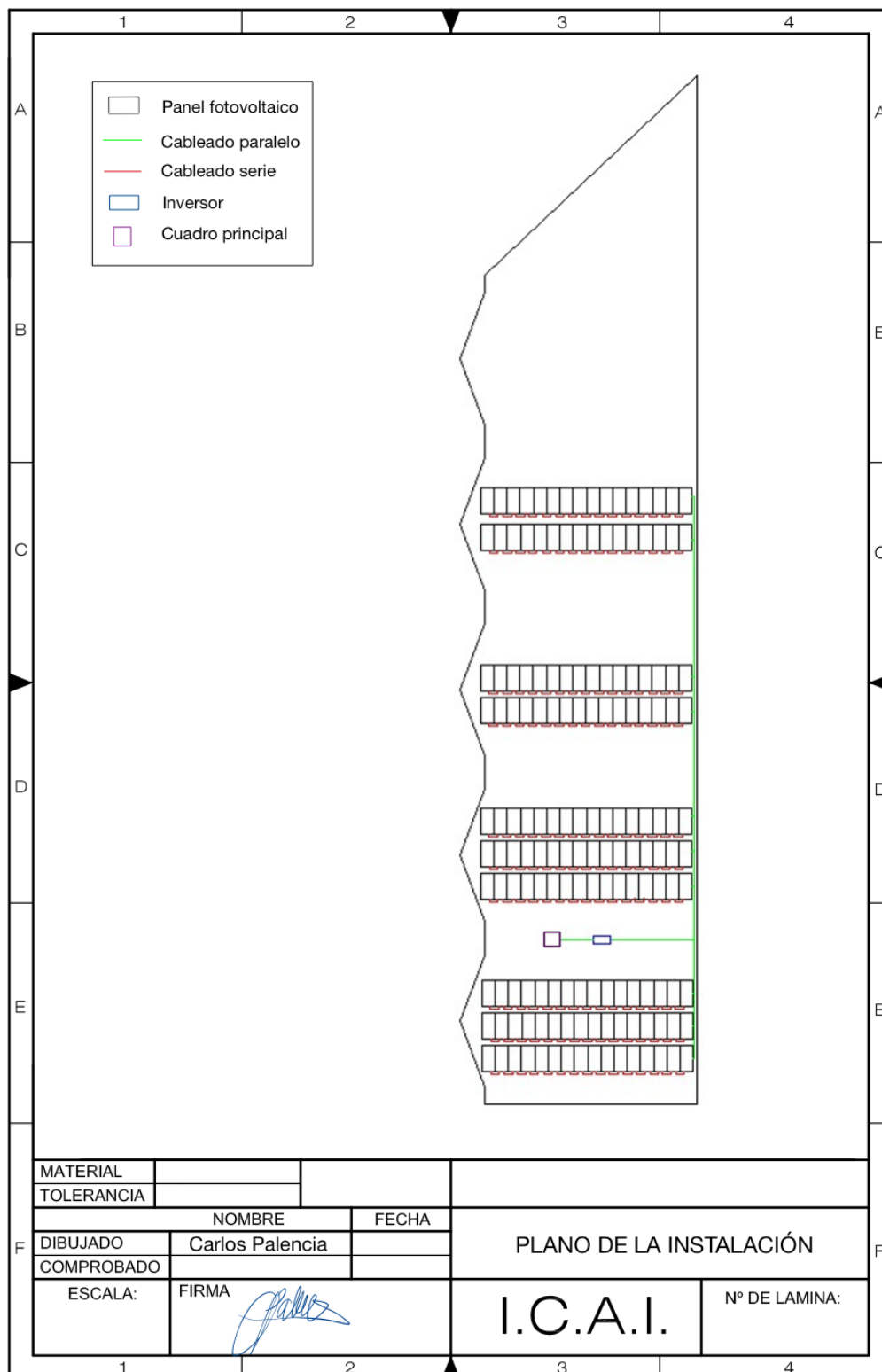
PATENTADO



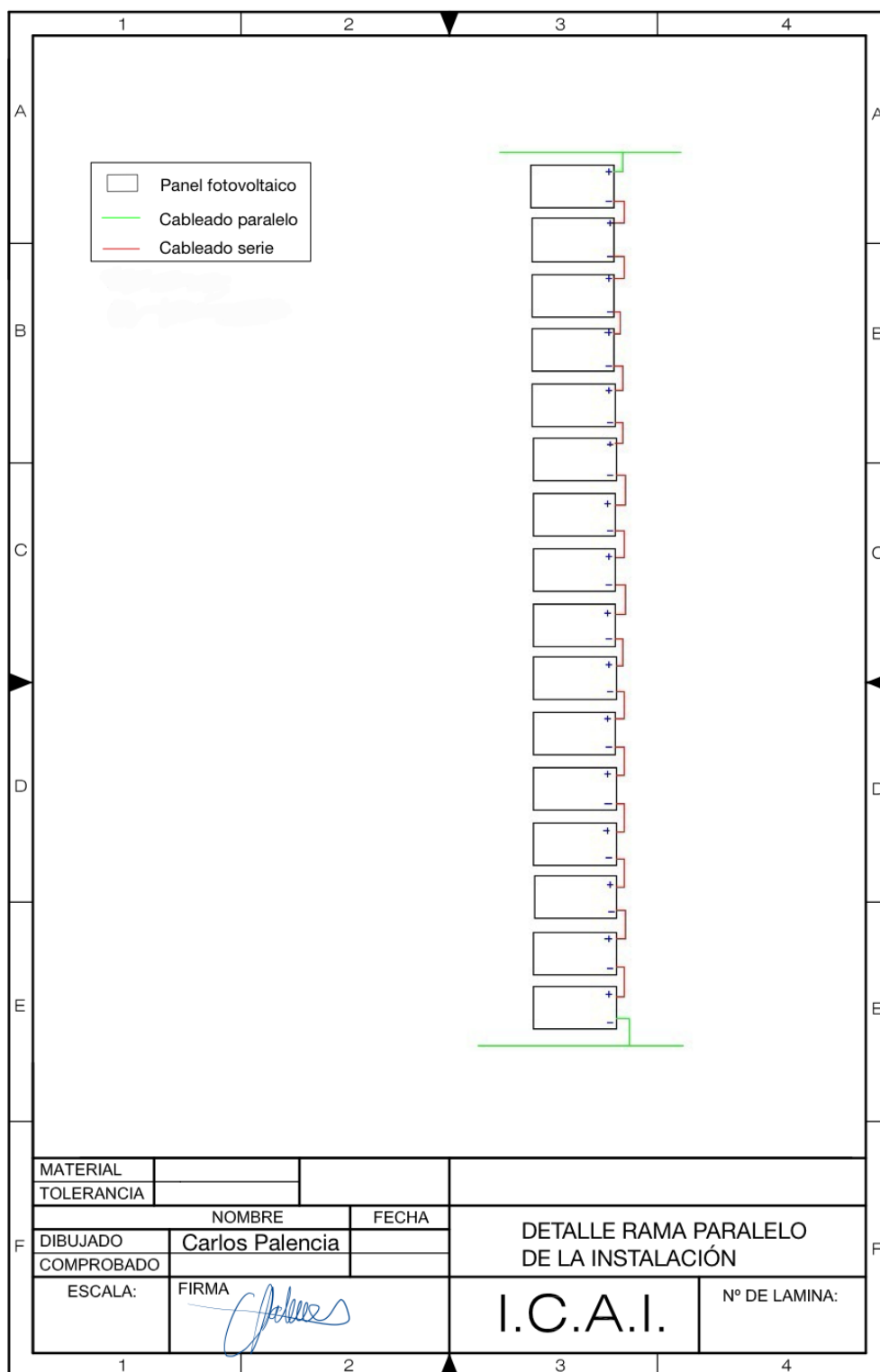
ANEXO IV: PLANO PLANTA EDIFICIO



ANEXO V: PLANO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA



ANEXO VI: ESQUEMA DE RAMA DE LA INSTALACIÓN



ANEXO VII: ESQUEMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN

