



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

TITULACIÓ:

Grado en Ingeniería Superior en Tecnologías Industriales

ALUMNO:

Alex Sayago Muñoz

TÍTULO DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO:

Diseño de una instalación fotovoltaica solar de autoconsumo en un
edificio público

DIRECTOR:

Álvaro Luna Alloza

CONVOCATORIA DE ENTREGA:

Junio de 2021

Resumen

En el presente proyecto se desarrolla un estudio sobre una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo en el Centro de Restauración y Conservación de la Filmoteca de Cataluña, en el parque audiovisual de Cataluña situado en la localidad de Terrassa.

Este edificio tiene un consumo elevado de electricidad ya que debe mantener las mismas condiciones de temperatura, humedad y luz durante todo el año para conseguir su propósito. El objetivo del proyecto es dimensionar un sistema capaz de abastecer de energía al edificio reduciendo el coste de la factura de la electricidad mediante una fuente de energía renovable y no contaminante.

En el estudio se analizarán sus necesidades energéticas y se simulará la instalación que se dimensione para saber cuánta energía se puede producir. Se utilizarán diferentes Software como Sketchup, PVGIS y PVSyst para modelar el edificio y obtener los datos de producción energética.

Para hacer el dimensionamiento más óptimo, se discutirán las diferentes posibilidades de sus elementos y se elegirá la mejor opción para el caso. Se realizará un presupuesto detallado y un estudio económico para determinar la viabilidad del proyecto, el ahorro que supone y el tiempo de retorno de la inversión.

Abstract

This project carries out a study about a photovoltaic solar installation for self-consumption on the Restoration and Conversation Centre of the Film Library of Catalonia, in the audio-visual park of Catalonia. It's located in Terrassa.

This building has a high consumption of electricity because it must maintain the same conditions of temperature, humidity and light throughout the year to achieve its purpose. The objective of the project is to size a system capable of supplying energy to the building to reduce the cost of the electricity bill with a renewable and non-pollution energy source.

The study will analyse its energy needs and will simulate the installation sized to know how much energy can be produced. Different software such as Sketchup, PVGIS and PVSyst will be used to model the building and obtain the energy data production.

To make the sizing more optimal, different possibilities of its elements will be discussed and we will choose the best option. A detailed budget will be carried out to determine the viability of the project, its saving and the time of return on investment.

Índice

Resumen	I
Índice	II
Índice de tablas	V
Índice de figuras	VII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.-Objeto.....	1
1.2.- Alcance.....	1
1.3.- Requerimientos	1
1.4.-Justificación y Utilidad.....	2
CAPÍTULO 2. DESARROLLO.....	3
2.1.-ANTECEDENTES Y/O ESTADO DEL ARTE	3
2.1.1.-Evolución del marco legal en España.....	3
2.1.2.-Legislación Actual en España:	4
2.2.-ASPECTOS TEÓRICOS	6
2.2.1.-Energía solar.....	6
2.2.2.-El sol y la Terra; Recorrido, estaciones... ..	7
2.2.3.- Radiación sobre superficies inclinadas	9
2.2.5.-Instalación fotovoltaica	10
2.2.6.- Tipos de modalidades de instalación	10
2.2.7.-Panel solar fotovoltaico.....	12
2.2.8.-Strings y Array:.....	15
2.2.9.-Separación entre filas	15
2.2.10.-Estructura de soporte	16
2.2.11.-Inversor DC/AC	17
2.2.12.-Baterías	19

2.2.13.-Instalación eléctrica.....	20
2.2.14.-Instalación de control	20
2.2.15.-Elementos de la conexión a la red y regulación.....	20
CAPÍTULO 3. CONTENIDO	22
3.1.-Ubicación geográfica.....	22
3.2.-Radiación en la ubicación.....	23
3.3.-Climatología.....	25
3.4.-Estudio de módulos fotovoltaicos para elegir el mejor para la instalación.....	27
3.5.-Sistema de captación, fija o de seguimiento.....	29
3.5.1.-Captación fija	29
3.5.2.-Captación con seguimiento.....	29
3.5.3.-Comparativa de las diferentes opciones de sistemas de captación	30
3.6.-Diseño 3D del edificio.....	32
3.7.-Estudio de sombras detallado	35
3.8.-Planteamiento y selección de alternativas.....	37
3.8.1.-Panel solar.....	38
3.8.2.-Estructura de soporte	39
3.8.3.-Inversor DC/AC	40
3.9.-Simulación con PVsyst.....	41
3.10.- Recopilación de datos	41
3.10.1.-Datos de consumo.....	41
3.10.2.-Datos de producción	44
3.11.-Discusión sobre la modalidad de la instalación	46
3.12.-Proceso de tramitación de la instalación.....	51
3.13.-Contrato de compensación de excedentes	54
3.14.- Dimensionamiento instalación eléctrica.....	54
3.14.3.-Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica	58
3.15.-Estudio del impacto medioambiental	60

3.15.1.-Impacto ambiental en la vida útil de la instalación.....	60
3.15.2.-Impacto en el clima	61
3.15.3.-Impacto en la geología	61
3.15.4.-Impacto en el ciclo del agua: aguas superficiales y subterráneas	61
3.15.5.-Impacto en la flora y la fauna	61
3.15.6.-Impacto en el paisaje	61
3.15.7.-Contaminación acústica.....	61
3.15.8.-Ahorro de emisiones contaminantes a la atmósfera.....	62
3.16.-Mantenimiento	64
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	65
4.1.-Coste técnico de redacción del proyecto	65
4.2.-Presupuesto.....	66
4.3.-Rendimiento económico.....	67
4.3.1.-Resultados con datos de producción del edificio Gaia.....	68
4.3.2.-Resultados con datos de producción de la simulación de PVSystem.....	69
4.4.-Conclusiones	71
4.5.- Agradecimientos.....	71
CAPÍTULO 5. REFERENCIAS	72
5.1.-Bibliografía	72

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación y características de los tipos de célula. Fuente: Elaboración propia	12
Tabla 2: Clasificación módulos fotovoltaicos en función del número de células. Fuente: Elaboración propia	13
Tabla 3: Parámetros eléctricos más importantes de un panel solar. Fuente: Elaboración propia.	14
Tabla 4: Identificación de la mejor tecnología a utilizar en función del nº de celdas y el voltaje del banco de baterías. Fuente: mpptsolar.com	21
Tabla 5: Datos de irradiación de la localización. Fuente: PVGIS	24
Tabla 6: Módulos fotovoltaicos de diferentes marcas más adecuadas para el estudio. Fuente: Catálogo CanadianSolar, Sharp, TrinaSolar, Longi	28
Tabla 7: Comparación de sistemas de captación. Fuente: Elaboración propia	30
Tabla 8: Estimación de costes por tipo de estructura. Fuente: Elaboración propia	31
Tabla 9: Posibilidades y características de las zonas del tejado. Fuente: Skelion Solar	36
Tabla 10: Pérdidas mensuales por sombras en tanto por ciento. Fuente: Skelion Solar	36
Tabla 11: Datos totales del conjunto de módulos fotovoltaicos. Fuente: Skelion Solar	37
Tabla 12: Características panel solar Canadian Solar HiKu 5 CS3W-450MS. Fuente: Catálogo Canadian Solar	38
Tabla 13: Estructuras en triángulo para módulos horizontales. Fuente: Catalogo AlbaSolar	39
Tabla 14: Estructura coplanar: Módulos juntos por lateral corto. Fuente: Catálogo Albasolar	39
Tabla 15: Inversores más interesantes para el caso. Fuente: Albasolar	41
Tabla 16: Consumo mensual 2019 Biblioteca TR9 ESEIAAT. Fuente: Sirena	42
Tabla 17: Datos de irradiación de la simulación. Fuente: PVSyst	44
Tabla 18: Datos de producción y rendimiento. Fuente: PVSyst	45
Tabla 19: Características eléctricas panel. Fuente: Catálogo Canadian Solar	54
Tabla 20: Características eléctricas string. Fuente: Elaboración propia	55
Tabla 21: Datos cable solar DC. Fuente: Catálogo AlbaSolar	56
Tabla 22: Características fusible elegido. Fuente: Catalogo AMB GreenPower	56
Tabla 23: Características portafusibles elegido. Fuente: Catalogo AMB GreenPower	57
Tabla 24: Datos cable solar AC. Fuente: Catálogo AlbaSolar	57
Tabla 25: Datos interruptor diferencial. Fuente: Catálogo Schneider	58
Tabla 26: Datos interruptor magnetotérmico. Fuente: Catálogo Schneider	58

Tabla 27: Emisiones emitidas por generar 1 kWh con energía convencional. Fuente: Eurostat 62

Tabla 28: Cantidad de contaminantes no emitidos. Fuente: Elaboración propia _____ 62

Tabla 29: Desglose coste técnico de redacción del proyecto. Fuente: Elaboración propia____ 65

Tabla 30: Presupuesto del proyecto. Fuente: Elaboración propia _____ 67

Índice de figuras

Figura 1: Evolución últimos 30 años potencia instalada en España peninsular. Fuente: Elaborado por AleaSoft con datos de REE.	5
Figura 2: Movimiento de translación de la Tierra alrededor del Sol. Fuente: wiki.ead.pucv.cl	7
Figura 3: Trayectoria solar en las diferentes estaciones del año. Fuente: alur-arquitectos.com/diseño-solar/	8
Figura 4: Coordenadas; Latitud y Longitud. Fuente: wiki.ead.pucv.cl	8
Figura 5: Coordenadas; Azimut y Altura. Fuente: wiki.ead.pucv.cl	9
Figura 6: Efecto del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la irradiancia. Fuente: Instituto de Tecnologías Educativas.	10
Figura 7: Curvas I-V en función de la temperatura de trabajo. Fuente: CanadianSolar.com	14
Figura 8: Curva I-V tipo. Fuente: Autosolar.es	14
Figura 9: Strings y Array de una instalación fotovoltaica. Fuente: Autosolar.es	15
Figura 10: Separación entre filas de paneles. Fuente: Monsolar.com	16
Figura 11: Movimiento para mantener la perpendicularidad con los rayos solares. Fuente: degeriberica.com	17
Figura 12: Inversor DC/AC de String. Fuente: factorenergia.com	18
Figura 13: Conjunto de baterías de una instalación fotovoltaica. Fuente: solardelvalle.es	19
Figura 14: Ubicación del edificio en estudio. Fuente: Google Maps	22
Figura 15: Salida del sol y puesta de sol con crepúsculo y horario de verano. Fuente: es.weatherspark.com	22
Figura 16: Energía solar de onda corta incidente diaria promedio. Fuente: es.weatherspark.com	23
Figura 17: Mapa de irradiación global diaria, media anual (MJ/m ²). Fuente: icaen.gencat.cat	23
Figura 18: Gráfico de barras de irradiación directa y difusa de la provincia de Barcelona. Fuente: aemet.es	25
Figura 19: Diagrama de barras con las precipitaciones mensuales y la Temperatura media mensual. Fuente: static-m.meteo.cat	26
Figura 20: Diagrama de barras con las temperaturas máximas y mínimas. Fuente: static-m.meteo.cat	26
Figura 21: Rosa de vientos y velocidad media del viento por cada dirección. Fuente: static-m.meteo.cat	27
Figura 22: Gráfico de estimación de producción eléctrica de los tipos de sistema de captación. Fuente: Elaboración propia	31

Figura 23: Vista Nord-Oeste del Centro de Conservación y Restauración de la Fílmoteca de Cataluía. Fuente: Google Earth _____	33
Figura 24: Vista Nord-Oeste del modelado 3D del Centro de Conservación y Restauración de la Fílmoteca de Cataluía. Fuente: Elaboración propia _____	33
Figura 25: Vista Nord-Este del Centro de Conservación y Restauración de la Fílmoteca de Cataluía. Fuente: Google Earth _____	33
Figura 26: Vista Nord-Este del modelado 3D del Centro de Conservación y Restauración de la Fílmoteca de Cataluía. Fuente: Elaboración propia _____	34
Figura 27: Evolución sombra durante el 21 de junio en 3 momentos representativos del día. Fuente: Elaboración propia _____	35
Figura 28: Evolución sombra durante el 21 de diciembre en 3 momentos representativos del día. Fuente: Elaboración propia _____	35
Figura 29: Instalación de paneles solares en las zonas más óptimas de la cubierta. Fuente: Elaboración propia _____	37
Figura 30: Evolución consumo mensual 2019 Biblioteca TR9 ESEIAAT _____	43
Figura 31: Diagrama de Producción. Fuente: PVSyst _____	45
Figura 32: Diagrama de pérdidas. Fuente: PVSyst _____	46
Figura 33: Comparación producción y consumo Enero. Fuente: Elaboración propia _____	47
Figura 34: Comparación producción y consumo Febrero. Fuente: Elaboración propia _____	47
Figura 35: Comparación producción y consumo Marzo. Fuente: Elaboración propia _____	47
Figura 36: Comparación producción y consumo Abril. Fuente: Elaboración propia _____	48
Figura 37: Comparación producción y consumo Mayo. Fuente: Elaboración propia _____	48
Figura 38: Comparación producción y consumo Junio. Fuente: Elaboración propia _____	48
Figura 39: Comparación producción y consumo Julio. Fuente: Elaboración propia _____	49
Figura 40: Comparación producción y consumo Agosto. Fuente: Elaboración propia _____	49
Figura 41: Comparación producción y consumo Setiembre. Fuente: Elaboración propia _____	49
Figura 42: Comparación producción y consumo Octubre. Fuente: Elaboración propia _____	50
Figura 43: Comparación producción y consumo Noviembre. Fuente: Elaboración propia _____	50
Figura 44: Comparación producción y consumo Diciembre. Fuente: Elaboración propia _____	50
Figura 45: Esquema unifilar de la instalación dimensionada. Fuente: Elaboración propia _____	59
Figura 46: Diagrama Ahorro de emisiones mensuales SO_2 y NO_x . Fuente: Elaboración propia _____	63
Figura 47: Diagrama Ahorro de emisiones mensuales CO_2 . Fuente: Elaboración propia _____	63

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1.-Objeto

Diseño de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo en el Centro de Restauración y Conservación de la Filmoteca de Cataluña, en el parque audiovisual de Cataluña situado en la localidad de Terrassa. El objetivo del proyecto es definir un sistema capaz de abastecer de energía al edificio reduciendo el coste de la electricidad y a través de una fuente verde.

En el estudio se analizarán los datos de consumo y los datos de producción de energía eléctrica. Para tener una instalación adecuada a este caso, se discutirán las diferentes posibilidades de sus elementos y se elegirá la mejor opción basada en criterios económicos. Se realizarán diferentes simulaciones para constatar la viabilidad del proyecto y un estudio económico para saber el presupuesto necesario y el tiempo de retorno de la inversión.

1.2.- Alcance

Las principales tareas que se desarrollarán en este proyecto son:

- Marco legal en España
- Explicación de aspectos teóricos generales de la instalación
- Recopilación datos climáticos y características de la ubicación
- Diseño 3D del edificio
- Estudio de sombras
- Selección de componentes de la instalación: Panel, estructura e inversor DC/AC
- Estudio de la potencia fotovoltaica a instalar
- Dimensionamiento de la instalación eléctrica: Cableado, protecciones y esquema unifilar
- Presupuesto y viabilidad económica del proyecto
- Estudio de impacto medioambiental

*No entra dentro del alcance del estudio:

- Proyecto de ejecución de la instalación

1.3.- Requerimientos

- Instalar el máximo de módulos fotovoltaicos posible en el tejado del edificio
- Optimizar la instalación para cubrir el máximo consumo posible
- Dimensionamiento de la instalación eléctrica

1.4.-Justificación y Utilidad

El Centro de Conservación y Restauración del Parque Audiovisual de Cataluña es un edificio perteneciente a la Filmoteca de Cataluña. Se trata de una institución pública que en este emplazamiento se encarga de recuperar, conservar, catalogar, investigar y difundir el patrimonio cinematográfico de Cataluña. El centro se encuentra en la localidad de Terrassa y consta de una superficie de 3000 m².

El edificio en cuestión necesita una importante cantidad de energía para funcionar ya que debe mantener las mismas condiciones de temperatura, humedad y luminosidad durante todo el año para la correcta conservación del material por el que vela.

La cubierta del edificio tiene una superficie libre considerable para poder plantear la instalación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico en ella. Además, no tiene otras edificaciones con altura cercanas o elementos que puedan generar sombras sobre el tejado. La orientación de la edificación es dirección sur, hecho muy favorable para la generación de energía mediante este sistema ya que los módulos fotovoltaicos deben estar orientados hacia el sur para tener una mayor eficiencia.

Como el tejado es plano y tiene superficies con diferentes alturas, se realizará un análisis de la mejor inclinación para los módulos fotovoltaicos en función de la zona de la cubierta donde se coloquen.

El estudio económico que se realizará en la última fase del trabajo permitirá concretar la inversión inicial necesaria y el tiempo de amortización de la instalación.

Este proyecto busca estudiar y dimensionar una instalación de energía renovable como la solar fotovoltaica. El objetivo es reducir el coste de la factura de la luz y contribuir a la reducción de emisiones contaminantes que desde todas las instituciones públicas se está fomentando en el marco de la Agenda 2030 o los acuerdos contra el cambio climático.

CAPÍTULO 2. DESARROLLO

2.1.-ANTECEDENTES Y/O ESTADO DEL ARTE

2.1.1.-Evolución del marco legal en España

El marco legal español sobre la energía solar fotovoltaica ha sufrido numerosos cambios desde que se estableció el primer decreto regulador en el año 1998. Algunas de estas modificaciones permitieron que el sector despegará y otras provocaron estancamientos muy importantes en la instalación de potencia fotovoltaica.

Evolución marco legal 1998-2014

A continuación, se hace un breve repaso por las diferentes normas anteriores al famoso decreto RD 900/2015 o decreto que estableció “el impuesto al Sol”.

- Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. Esta norma establece la retribución de la energía vertida.
- Real Decreto 436/2004 de 12 de marzo: Establece el régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto-Ley 7/2006 de 23 de junio: Desvincula la variación de las primas de régimen especial de la tarifa eléctrica media o de referencia.
- Real Decreto 661/2007 de 25 de mayo: Establece el régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Deroga el RD 436/2004 de 12 de marzo.

Los decretos RD 436/2004 y RD 661/2007 permitieron que España se convirtiese en uno de los países que más potencia fotovoltaica instaló en el 2008.

- Real Decreto 1578/2008: Establece primas variables según la ubicación de la instalación.

EL RD 1578/2008 provocó una desaceleración muy importante en la implantación de nuevas instalaciones fotovoltaicas en los años siguientes a su aprobación por las numerosas trabas administrativas que imponía.

Real Decreto del “impuesto al Sol” 2015:

El RD 900/2015 aprobó un impuesto para los usuarios con instalaciones de autoconsumo con la justificación de que tenían el deber de contribuir al mantenimiento de la red eléctrica convencional. Esto provocó un estancamiento drástico de nuevas instalaciones fotovoltaicas ya que se redujo su rentabilidad.

Real Decreto-Ley 15/2018

El nuevo gobierno español establecido en 2018 aprobó medidas urgentes como la derogación del impuesto al Sol del RD 900/2015 y estableció algunas de las bases de la actual legislación que han permitido que el sector vuelva a crecer de manera importante.

2.1.2.-Legislación Actual en España:

El Real Decreto 244/2019 con el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Se caracteriza por especificar los diferentes tipos de instalaciones, por suprimir el concepto de balance neto y sustituirlo por sistemas de reparto de excedentes y por simplificar los trámites administrativos que debe pasar la instalación.

Tiene por objetivo facilitar el acceso a instalaciones de autoconsumo en vistas de cumplir los objetivos medioambientales y de transición energética establecidos en diferentes acuerdos como la Agenda 2030.

Se diferencian 3 modalidades de autoconsumo:

- Autoconsumo sin excedentes: Requiere de un mecanismo anti vertido que evita la inyección de electricidad a la red eléctrica. En el Anexo 1 del decreto se especifican los tipos de sistemas permitidos y los esquemas de conexionado de estos.
- Autoconsumo con excedentes: Instalaciones que, aparte de suministrar energía para el autoconsumo, pueden inyectar la energía sobrante a la red eléctrica pública. Se pueden diferenciar dos submodalidades:
 - Excedentes acogidos a compensación: El consumidor utiliza la energía producida por la instalación. Cuando esta no es suficiente, puede utilizar la proporcionada por la red pública de distribución. Cuando la energía producida es mayor a la consumida, la instalación puede suministrarla a la red a cambio de una compensación en la factura eléctrica. La factura nunca puede salir a pagar para la compañía comercializadora de la red pública.
Es necesario que se cumplan estas condiciones:
 - Debe ser una fuente de energía renovable.
 - La potencia total del equipamiento productivo no puede superar los 100 kW.
 - El consumidor solo puede estar suscrito a un contrato de suministro para consumo y servicios auxiliares con una empresa comercializadora.

-El consumidor y productor deben estar suscritos a un contrato de compensación de excedentes de autoconsumo.

-La instalación no puede estar sujeta a un régimen retributivo específico o adicional.

- Excedentes no acogidos a compensación: Todas aquellas instalaciones que no cumplan con los requisitos descritos en la modalidad anterior o que no quieran pertenecer a ella. Los excedentes se venden directamente en el mercado energético y, por lo tanto, el productor se debe dar de alta como productor de energías y seguir con las obligaciones técnicas y fiscales impuestas.

En todos los tipos de instalaciones se podrán instalar sistemas de almacenamiento.

Se establece otra clasificación:

- Autoconsumo individual: Cuando solo hay un consumidor asociado a la instalación. Se puede acoger cualquier modalidad de autoconsumo. Tendrá consideración de autoconsumo con excedentes en cualquier modalidad si se está conectado a través de la red.
- Autoconsumo colectivo: Cuando hay más de un consumidor asociado a la instalación. Se puede acoger cualquier modalidad de autoconsumo. Tendrá consideración de autoconsumo con excedentes en cualquier modalidad si se está conectado a través de la red. Todos los consumidores deberán pertenecer a la misma modalidad de autoconsumo.

A continuación, se puede observar una gráfica de la evolución de la potencia fotovoltaica instalada de los últimos 30 años. En ella se puede apreciar las consecuencias de los diferentes decretos explicados.

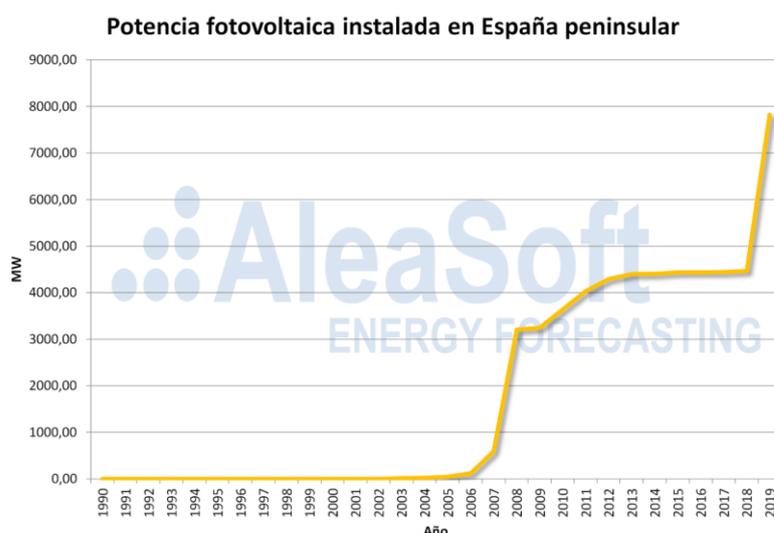


Figura 1: Evolución últimos 30 años potencia instalada en España peninsular. Fuente: Elaborado por AleaSoft con datos de REE.

En este apartado no se informa de los trámites administrativos y condiciones técnicas de cada modalidad. En el desarrollo del proyecto, se especificará el tipo de instalación elegida y se explicará el proceso administrativo y las características técnicas necesarias del sistema.

2.2.-ASPECTOS TEÓRICOS

2.2.1.-Energía solar

La energía solar es aquella que se produce por las reacciones de fusión que tienen lugar en el Sol y que a través de ondas electromagnéticas atraviesan el espacio y llegan a la Tierra. Cada partícula de luz, también conocida como fotón, que llega a la superficie contiene energía que puede ser transformada y aprovechada por el ser humano. Según el método de captación de la energía, se puede diferenciar entre 2 procedimientos para aprovecharla; Conversión térmica a alta temperatura y Conversión fotovoltaica.

La conversión térmica a alta temperatura consiste en producir calor mediante los rayos solares. Éste calor se utiliza para calentar fluidos como el agua o el aire, que pueden ser aprovechados tanto para consumo doméstico como para generar electricidad. El proceso se realiza mediante colectores de diversos tipos según su objetivo: desde calentar el agua de una vivienda (colectores de baja y media temperatura) hasta para generar electricidad concentrando la luz en un punto concreto con espejos (colectores de alta temperatura).

La conversión fotovoltaica se basa en el Efecto Fotoeléctrico. Existe una serie de materiales que, al ser expuestos a los fotones, generan el movimiento de sus electrones y por tanto una corriente eléctrica. Se utilizan materiales semiconductores como el silicio cristalino o el arseniuro de Galio para la construcción de las celdas solares.

La radiación solar es la energía electromagnética que emite el Sol en todas direcciones y toda gama de espectros. La radiación se expresa en unidades de W/m^2 y la cantidad que llega a la superficie no es constante, ya que la radiación varía durante el día y en función de la estación del año, de la nubosidad, del ángulo de inclinación y de la reflectancia de las superficies. Éste hecho dificulta saber la cantidad que llega a los paneles fotovoltaicos. La radiación recibida se diferencia en 3 tipos:

- Radiación directa: Es aquella que llega directamente del Sol y es predominante los días soleados.
- Radiación difusa: Es aquella que se dispersa de su dirección original debido a las moléculas de la atmosfera y es la predominante los días nublados.
- Radiación reflejada o de albedo: Es aquella que se capta después de que se refleje en la superficie terrestre.

Con la suma de las 3 radiaciones se obtiene la radiación global. Además, las superficies reciben mayor cantidad de energía contra más perpendicularmente incidan los rayos solares sobre ellas.

Vistas las características de la radiación y su comportamiento, es sumamente importante tener en cuenta la posición, el ángulo de inclinación y la orientación de los paneles fotovoltaicos para poder aprovechar al máximo la energía procedente del Sol. Estos aspectos se tratarán con más detalle en próximos apartados.

2.2.2.-El sol y la Terra; Recorrido, estaciones...

La Tierra es un planeta del Sistema Solar que orbita elípticamente alrededor de una estrella; el Sol. El movimiento de translación que realiza alrededor del Sol permite que la radiación solar incida siempre sobre la superficie terrestre.

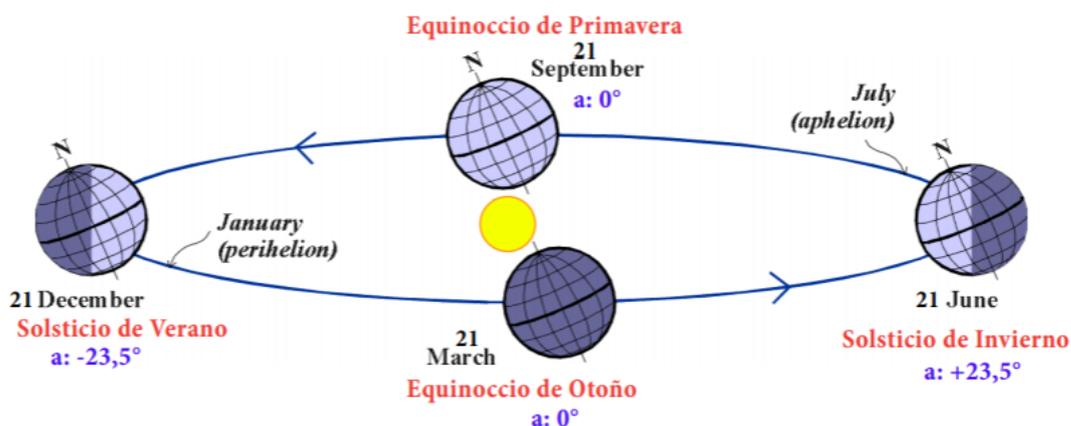


Figura 2: Movimiento de translación de la Tierra alrededor del Sol. Fuente: wiki.ead.pucv.cl

Además, el planeta gira sobre él mismo en un eje inclinado de $23,5^\circ$ respecto a la vertical. Esto es conocido como movimiento de rotación terrestre y es el causante de que se produzca la noche y el día, así como los diferentes momentos del día; amanecer, mañana, mediodía, tarde y atardecer.

A lo largo del día, el ángulo y la orientación varía constantemente trazando el recorrido solar.

La inclinación de la Tierra provoca que los rayos de radiación incidentes varíen su intensidad según el momento del año y consecuentemente genera las estaciones.

Estas no tienen la misma duración ya que la órbita del planeta es elíptica y recorre la trayectoria alrededor del Sol con una velocidad variable, en función de si está más cerca de la estrella (perihelio) o más alejada (afelio).

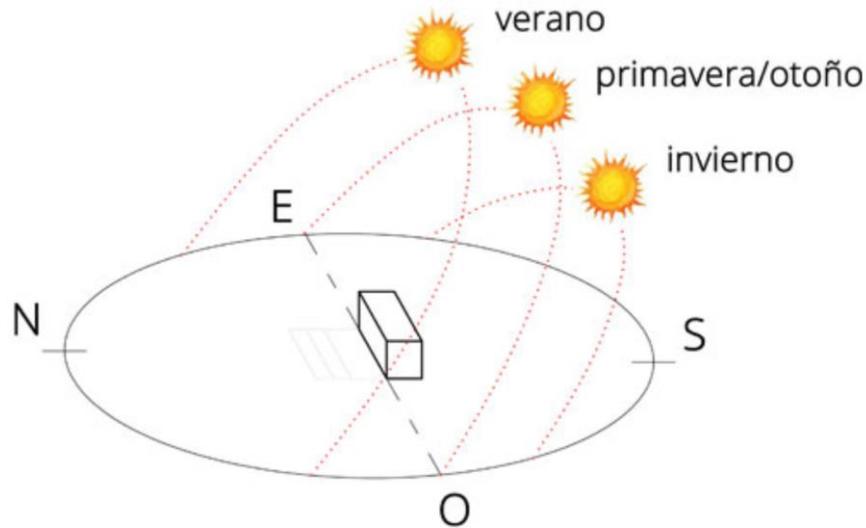


Figura 3: Trayectoria solar en las diferentes estaciones del año. Fuente: alur-arquitectos.com/disenio-solar/

Para localizar cualquier punto en la superficie terrestre se utilizan dos coordenadas:

- **Latitud:** Es el ángulo entre un punto cualquiera de la Tierra y el ecuador. Las líneas de latitud son círculos paralelos al círculo del Ecuador.
- **Longitud:** Es la distancia medida en grados que existe entre un punto cualquiera y el Meridiano de Greenwich.

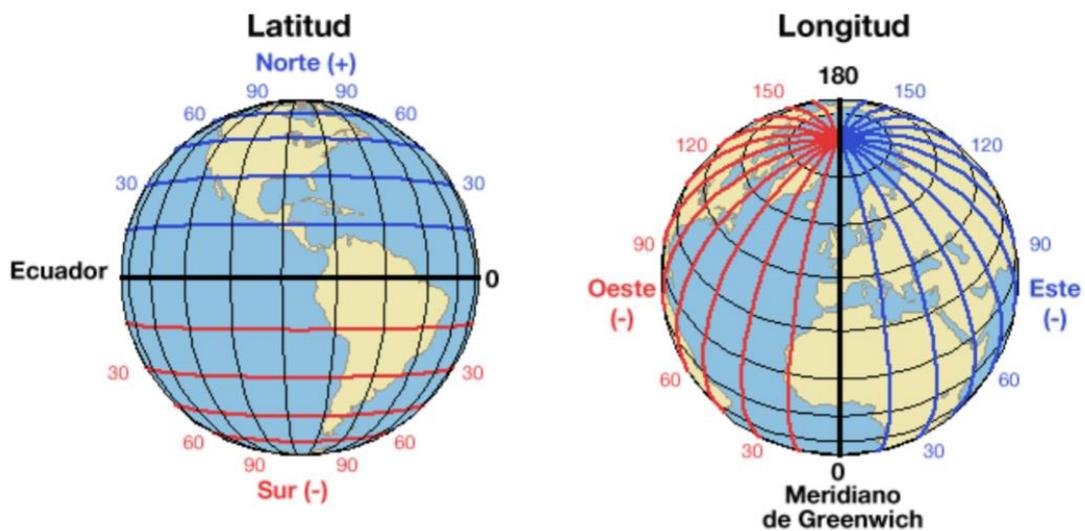


Figura 4: Coordenadas; Latitud y Longitud. Fuente: wiki.ead.pucv.cl

La posición del Sol en cada instante respecto un punto de observación en la superficie terrestre viene dada por dos coordenadas:

- **Altura:** Es el ángulo entre el plano horizontal y el Sol. Varía durante el día, produciéndose su altura máxima en el mediodía.
- **Azimut:** Es el ángulo que forma la proyección del Sol sobre el plano horizontal y el sur. Se mide en sentido horario en el hemisferio norte y en sentido antihorario en el hemisferio sur

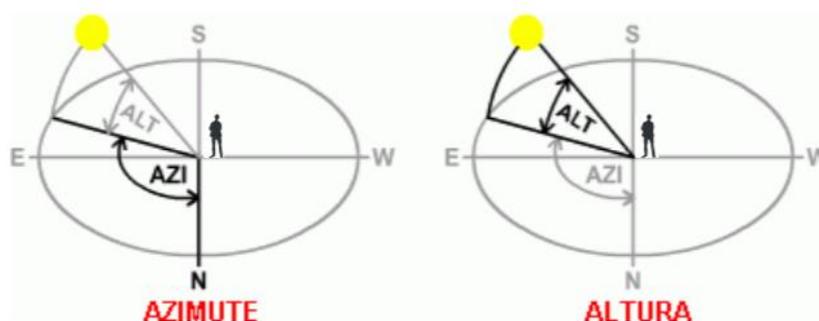


Figura 5: Coordenadas; Azimut y Altura. Fuente: wiki.ead.pucv.cl

2.2.3.- Radiación sobre superficies inclinadas

El ángulo de incidencia de los rayos solares sobre los módulos fotovoltaicos es un factor clave a la hora de realizar una instalación de este tipo. La irradiación que recibe una superficie inclinada es máxima cuando esta se encuentra orientada perpendicularmente a los rayos solares. Como la posición del Sol varía a lo largo del día y de las estaciones, la única manera de conseguir siempre la perpendicularidad es con un sistema de seguimiento.

El sistema de seguimiento solar es un elemento de la instalación que requiere un mayor presupuesto y por eso es minoritario. En la mayoría de casos, la instalación es fija. Por norma general se hace un estudio de la orientación de los paneles solares para maximizar la captación de intensidad de luz a lo largo del año o del período que se desee.

Cuando no hay situación de perpendicularidad, la radiación captada disminuye. Esto se debe a que la superficie irradiada aumenta su extensión y a que el camino recorrido por los rayos solares aumenta y, al atravesar un grosor más grande de atmósfera, se pierde más energía por absorción y reflexión.

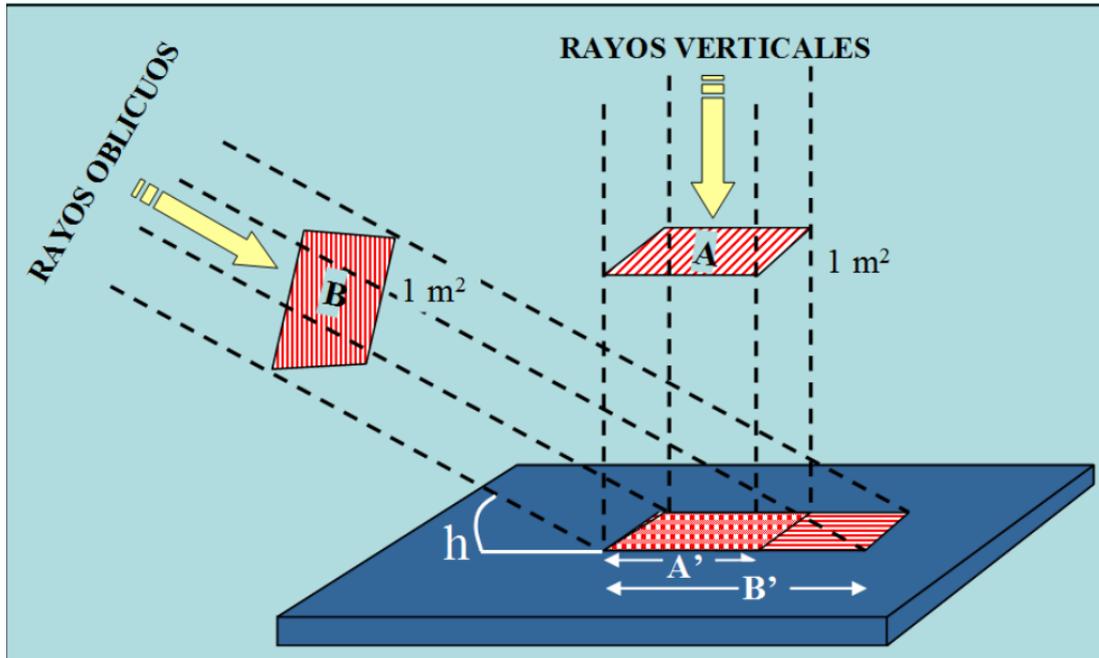


Figura 6: Efecto del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la irradiancia. Fuente: Instituto de Tecnologías Educativas.

2.2.5.-Instalación fotovoltaica

Es un conjunto de dispositivos y elementos eléctricos que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

Los paneles solares absorben la energía solar y la transforman en electricidad de corriente continua. Después se conduce hasta los inversores, que convierten la corriente continua en corriente alterna. Esto es debido a que las instalaciones de edificios y máquinas trabajan en alterna. Una vez se tiene corriente alterna, se conduce a las baterías de almacenamiento, a dispositivos e instalaciones para ser consumida o a la red pública de distribución eléctrica para ser transportada.

2.2.6.- Tipos de modalidades de instalación

El real decreto 244/2019 diferencia entre 2 modalidades de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo:

- Autoconsumo sin excedentes/ sin inyección a red: Estas instalaciones tienen un equipo anti-vertido que evita que se vuelque la energía sobrante a la red eléctrica. La principal ventaja de esta modalidad es que su tramitación administrativa es mínima. La legislación no establece un tamaño máximo para este tipo de instalación.

La energía eléctrica generada se consume instantemente o se almacena en baterías si se dispone de ellas en la instalación. Cuando el sistema no es capaz de producir suficiente energía para cubrir el consumo, se recurre a la electricidad almacenada en las baterías o directamente a la red de distribución pública.

Una de las grandes ventajas de esta modalidad es que su instalación y tramitación es rápida y sencilla. Se requiere:

- Boletín eléctrico y certificado de instalación fotovoltaica.
 - Tramitación de permiso de obra y pago de tasas al ayuntamiento
 - Realizar un proyecto eléctrico si la instalación tiene una potencia mayor a 10Kw
 - Instalar equipo anti vertido o de inyección cero
-
- Autoconsumo con excedentes / con vertido a red: Estas instalaciones están preparadas para inyectar la energía sobrante a la red eléctrica. En función de la potencia instalada, se diferencian dos submodalidades:
 - Modalidad con excedentes sin compensación simplificada: Para todas aquellas instalaciones que superen los 100 KW que pueden vender su excedente. Esta venta de electricidad se registrará con las normas establecidas para cualquier planta de producción de energía eléctrica.
 - Modalidad con excedentes con compensación simplificada: Para todas aquellas instalaciones que no superen los 100 KW, las cuáles serán compensadas en la factura eléctrica de su empresa eléctrica contratada.

Además, las instalaciones de autoconsumo se pueden clasificar como:

- Autoconsumo individual: Sólo existe un consumidor asociado a la instalación.
- Autoconsumo colectivo: Existen varios consumidores asociados a la misma instalación como por ejemplo en comunidades de propietarios o en polígonos industriales.

También se pueden diferenciar las instalaciones en función de su conexión:

- Instalaciones en red interior: La encargada de conectar a las instalaciones de producción y consumidores es una red interior.
- Instalaciones en red exterior: La encargada de conectar a las instalaciones de producción y consumidores es una red exterior de baja tensión que depende del mismo centro de transformación, una red exterior conectada a menos de 500 metros del consumidor o una red exterior ubicada en la misma referencia catastral que el consumidor.

Por último, existen los sistemas de autoconsumo fotovoltaicos aislados. Estos no disponen de conexión a la red de distribución pública y tienen una gran dependencia del almacenado de energía, ya que cuando la instalación produzca menos de lo que se consume o directamente no produzca, se podrá cubrir únicamente con las baterías. Por lo tanto, el coste para dimensionar correctamente el sistema de almacenaje será más elevado, pero no existirá factura de luz.

2.2.7.-Panel solar fotovoltaico

Es un dispositivo que genera electricidad a partir de la radiación solar incidente en las células fotovoltaicas gracias al efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno que se produce cuando los fotones impactan sobre un material y ceden toda su energía en forma de radiación electromagnética. Esto provoca que los electrones del material impactado se desplacen hacia otros átomos, produciéndose una corriente eléctrica.

Las células están fabricadas de materiales semiconductores con una estructura *PN*. Mayoritariamente, los materiales más utilizados para las celdas de los módulos son el silicio y el arseniuro de galio. El rendimiento de las células depende de la estructura tridimensional interna que tengan las láminas de silicio. Actualmente hay miles de modelos de paneles fotovoltaicos en el mercado. Sin embargo y generalizando, se pueden clasificar de diferentes maneras:

1.-Según el tipo de célula que utilicen:

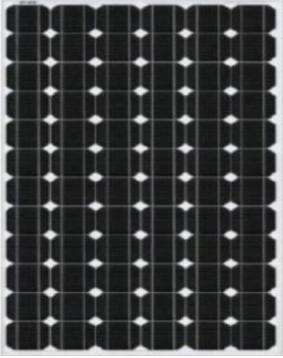
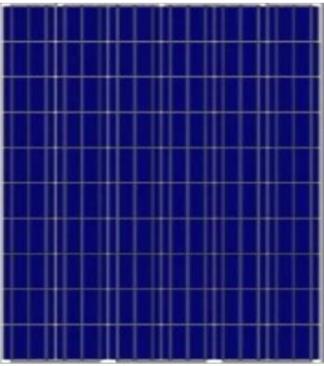
Monocrystalino	Policristalino	Amorfo o film
<p>Se trata de un único cristal de silicio con una estructura muy uniforme. Su rendimiento está alrededor del 20% y es mayor que el policristalino y que el film. Esto es debido a que se facilita la conductividad con la perfecta alineación de los átomos de silicio. Por contra, su precio es más elevado porque su proceso de formación es más lento</p>	<p>Se forma con muchos cristales de silicio y su proceso de fabricación es más rápido. Proporciona un rendimiento del 15-16%, pero su coste es menor respecto al monocrystalino</p>	<p>Se obtiene depositando varias capas de material fotovoltaico sobre una base. Es más fácil de fabricar y económico que los materiales cristalinos, pero proporciona un rendimiento del 10-11%</p>
		

Tabla 1: Clasificación y características de los tipos de célula. Fuente: Elaboración propia

2.-Según el número de células que utilicen:

N° de células*	Rango de potencia (W)	Dimensiones (m)
36 o 72	80-190	1,6 x 0,9
60 o 120	280-330	1,7 x 1,0
72 o 144	330-450	2,0 x 1,0

Tabla 2: Clasificación módulos fotovoltaicos en función del número de células. Fuente: Elaboración propia

* N° de células conectadas en serie

3.-Según su forma constructiva:

- Célula tradicional
- Célula cortada: Son células tradicionales que son partidas en 2 partes iguales. Esta tecnología permite mejorar el comportamiento del panel cuando hay sombras. Su inconveniente es que disminuye la fiabilidad ya que se duplican los contactos metálicos y soldaduras. Las sombras afectarán a menos superficie de las celdas gracias a la división.
- Célula PERC o Bifacial: Esta tecnología consiste en añadir una capa a la parte trasera del panel para aprovechar más la energía de los fotones cuando atraviesan el panel. La luz sobrante rebota dentro de la célula y se capta más energía de los fotones.

Los parámetros eléctricos más importantes de los módulos fotovoltaicos son:

Parámetro	Descripción
Potencia Nominal P_{nom} [W]	Potencia pico máximo que entrega el panel en condiciones óptimas de temperatura e irradiación
Tolerancia [%]	Es el porcentaje que puede variar la potencia pico real respecto a la potencia pico ideal
Eficiencia η [%]	Rendimiento del panel solar respecto a la potencia de radiación que le incide y la potencia eléctrica que genera.
Tensión máxima V_{mpp} [V]	Tensión que proporciona el panel en su máxima potencia
Corriente máxima I_{mpp} [A]	Corriente que proporciona el panel en su máxima potencia
Tensión circuito abierto V_{op} [V]	Mayor tensión que se puede obtener

Corriente de cortocircuito I_{sc} [A]	Valor de la intensidad que circula cuando la tensión en los terminales es 0. Mayor corriente que se puede obtener
Coefficiente de Temperatura [% / °C]	Es el porcentaje de pérdida de potencia respecto su P_{nom} por cada grado centígrado que supera su temperatura óptima de funcionamiento

Tabla 3: Parámetros eléctricos más importantes de un panel solar. Fuente: Elaboración propia.

Las curvas características de un módulo fotovoltaico son las de Intensidad-Voltaje (I-V) y Potencia-Voltaje (P-V). En ellas se puede observar el comportamiento del módulo en unas determinadas condiciones, generalmente en las condiciones estándar (STC). Son importantes para encontrar el punto máximo de eficiencia y poder hacer que los paneles trabajen en ese punto mediante reguladores. Generalmente en la ficha técnica de los módulos fotovoltaicos también se incluyen las curvas I-V teniendo en cuenta factores como la irradiación o la temperatura del módulo.

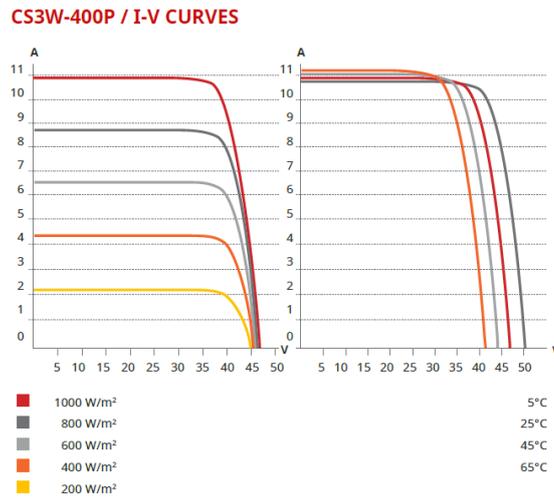


Figura 7: Curvas I-V en función de la temperatura de trabajo. Fuente: CanadianSolar.com

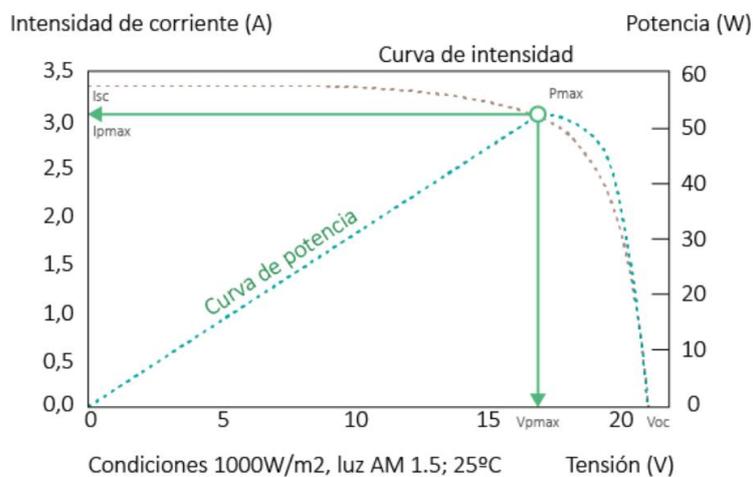


Figura 8: Curva I-V tipo. Fuente: Autosolar.es

2.2.8.-Strings y Array:

Los paneles solares no funcionan de forma individual, sino que se agrupan en grupos de módulos que se conectan en serie. Estas agrupaciones reciben el nombre de strings.

Los strings son agrupaciones de módulos fotovoltaicos conectados en serie. La tensión del string es el resultado de las sumas de tensiones de cada uno de los módulos. La intensidad del string es igual a la intensidad con menor valor del conjunto de módulos.

El array fotovoltaico es la agrupación de strings fotovoltaicos conectados en paralelo. La tensión del array es igual al voltaje del string de menor valor. La intensidad del array es la suma de las intensidades de conjunto de strings.



Figura 9: Strings y Array de una instalación fotovoltaica. Fuente: Autosolar.es

2.2.9.-Separación entre filas

Generalmente, los paneles solares se ordenan en filas para aprovechar al máximo el espacio disponible para la instalación. Consecuentemente, se debe calcular la distancia entre filas para que las delanteras no generen sombreados sobre las traseras y así no perder productividad. Para ello, es necesario conocer las dimensiones de los módulos fotovoltaicos y la inclinación de éstos. Es evidente que si los paneles no tienen inclinación no será necesario separar las filas y que contra mayor sea la inclinación, mayor será la longitud de su sombra.

También se debe tener en cuenta cómo es la cubierta del edificio, ya que no se producirán las mismas sombras en una superficie plana que en una inclinada.

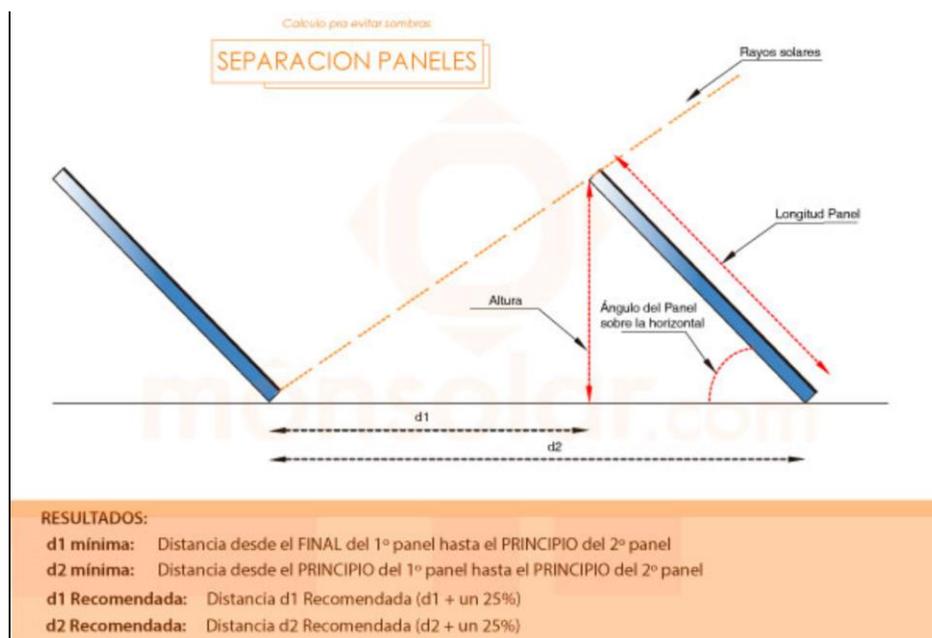


Figura 10: Separación entre filas de paneles. Fuente: Monsolar.com

2.2.10.-Estructura de soporte

Los módulos fotovoltaicos requieren de una estructura que los sostenga sobre la superficie. Su objetivo principal es asegurar su estabilidad, fijación y mantenimiento de la configuración correcta a través del tiempo soportando las diferentes condiciones climáticas.

2.2.10.1.-Estructuras fijas

Se trata de un elemento indispensable para los módulos fotovoltaicos ya que con la inclinación y orientación más óptimas se podrá aprovechar al máximo el potencial de estos. Las estructuras fijas se pueden clasificar en función de la superficie donde se instalen:

- Estructuras para cubiertas inclinadas: Se denominan coplanares y son las más económicas y rápidas de montar. Son elementos que se anclan en paralelo a la cubierta mediante diferentes fijaciones. Se utilizan dos perfiles de aluminio sobre los que se colocan los paneles solares.
- Estructuras para superficies planas: Se denominan triangulares y se regulan en función del grado de inclinación deseado. Además, se pueden diferenciar entre las que permiten instalar los paneles horizontalmente y las que los permiten verticalmente.
- Estructuras elevadas: Estructuras para un número determinado de paneles solares para evitar las sombras producidas por elementos próximos a la instalación. También son útiles para reducir el espacio ocupado en el suelo por el equipo instalado.
- Estructuras para pared: Estructuras ancladas a las fachadas de los edificios que se utilizan cuando en las cubiertas no hay suficiente espacio para instalar los módulos. También pueden formar parte de la propia fachada.

2.2.10.2.-Estructuras móviles

- Seguidores solares: Son estructuras que incorporan un sistema mecánico capaz de orientar los paneles solares para que permanezcan perpendiculares a los rayos solares durante el día. Existen diferentes tipos:
 - 1 eje azimutal: El movimiento de la estructura es sobre un eje vertical.
 - 1 eje horizontal: El movimiento de la estructura es sobre un eje horizontal orientado en dirección norte-sur.
 - 1 eje polar: El movimiento de la superficie es de giro sobre un eje orientado al sur y con un ángulo igual a la latitud.
 - 2 ejes: La superficie se encuentra siempre perpendicularmente orientado a los rayos solares.

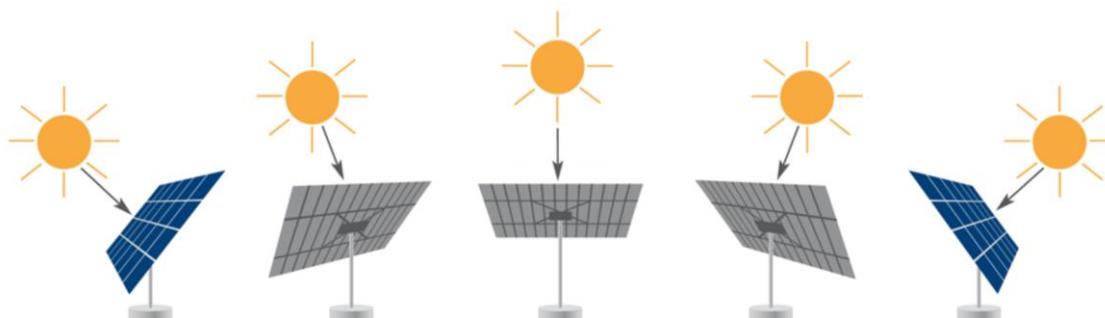


Figura 11: Movimiento para mantener la perpendicularidad con los rayos solares. Fuente: degeriberica.com

2.2.11.-Inversor DC/AC

Un inversor es un dispositivo electrónico que transforma corriente continua en corriente alterna con un voltaje y frecuencia determinados.

Para las instalaciones fotovoltaicas, el inversor DC/AC es un elemento indispensable ya que la corriente que se obtiene en las placas fotovoltaicas es de tipo continua. Hoy en día, la gran mayoría de aparatos eléctricos funcionan con corriente alterna y también la red eléctrica.

Gracias a un oscilador, se controla un transistor que provoca interrupciones en la corriente de entrada (DC) y genera ondas rectangulares con sus dos estados; Modo corte (off) y Modo saturación (on). La señal de salida cuadrada se puede transformar en sinusoidal mediante filtros, pero se necesitan condensadores y bobinas voluminosas para lograrlo. Por este motivo se trabaja en la dirección de diseñar los propios inversores de tal manera que los armónicos tengan valores pequeños y la señal sea lo más sinusoidal posible.

La elección del inversor se debe hacer en base a la potencia de pico del conjunto de módulos fotovoltaicos, ya que si el inversor tiene una potencia nominal o de funcionamiento mayor que la que recibe el rendimiento bajará. Por el otro extremo, el pico de potencia de los paneles no puede ser mayor que la potencia del inversor porque entonces su vida útil se reduciría.

Según si la instalación eléctrica es monofásica o trifásica, se debe utilizar un tipo de inversor u otro:

- Inversor monofásico: Tienen una única corriente alterna o fase. Este elemento se suele utilizar en viviendas particulares residenciales y su coste es menor que el inversor trifásico. Normalmente se utilizan para la distribución de energía de calefacción, iluminación y para motores pequeños.
- Inversor trifásico: Consta de 3 fases o corrientes alternas. Normalmente se utiliza para verter la corriente en fuentes de tensión alterna trifásica sin interrupciones, para motores trifásicos o para la conexión de paneles fotovoltaicos
- Inversor híbrido: Dispositivo que es compatible con sistemas de acumulación de energía. Pueden funcionar con o sin baterías sin ningún problema ni pérdida de rendimiento.

Además, los inversores también se pueden clasificar en función de la tecnología que utilicen:

- Inversor de string: No permite monitorizar la instalación panel a panel y en caso en sombras o tejado irregular, la producción eléctrica se verá afectada de una manera significativa. Por el contrario, es la opción que requiere menos presupuesto.
- Inversor con optimizadores de potencia: Estos dispositivos evitan que la producción de paneles solares en serie se vea perjudicada si hay un módulo afectado por sombras o cualquier circunstancia. Se conectan al inversor.
- Microinversores: Consiste en instalar un inversor de pequeño tamaño en cada panel fotovoltaico, lo que permite que cada módulo sea independiente del resto. Sin embargo, el coste de esta opción es elevado al necesitarse un elemento por panel.



Figura 12: Inversor DC/AC de String. Fuente: factorenergia.com

2.2.12.-Baterías

Las baterías son dispositivos que tienen como objetivo acumular la energía eléctrica generada por los paneles solares para utilizar-la durante la noche o en momentos donde la generación de energía sea menor a la requerida. Dependiendo de si la instalación consume la energía generada al instante o no, las baterías cobrarán más o menos importancia.

Las baterías transforman la energía eléctrica que reciben en energía química y realizan el proceso inverso cuando se les demanda energía eléctrica. Se componen de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen reacciones químicas por la carga y la descarga.

El tipo más utilizado para aplicaciones solares son las baterías de ciclo profundo. Éstas están diseñadas para descargarse repetidamente hasta un 80% de su capacidad. Las características más importantes al elegir una batería son:

- Capacidad: Es la intensidad en Amperios que se obtiene al descargar completamente la batería.
- Eficiencia de carga: Es la relación entre la energía utilizada para cargar la batería y la que realmente se almacena.
- Auto descarga: Es el proceso de un acumulador eléctrico que tiende a descargar-se sin estar en funcionamiento.
- Profundidad de descarga: Es el tanto por ciento que se extrae de la batería plenamente cargada en una descarga. También puede ser el valor mínimo al que se puede bajar en una descarga para que no se dañe el dispositivo.



Figura 13: Conjunto de baterías de una instalación fotovoltaica. Fuente: solardelvalle.es

2.2.13.-Instalación eléctrica

La instalación eléctrica comprende todo el cableado encargado de transportar la corriente entre los diferentes dispositivos de la instalación y también los dispositivos de protección del sistema. Las protecciones es el conjunto de dispositivos que protegen a los elementos de la instalación y a las personas de sobrecargas, cortocircuitos, impacto de rayos y descargas eléctricas. Normalmente las instalaciones de autoconsumo fotovoltaicas cuentan con un cuadro de protecciones donde se pueden encontrar fusibles, interruptores y magnetotérmicos.

2.2.14.-Instalación de control

El sistema de monitorización de una instalación fotovoltaica de autoconsumo es muy importante para controlar el correcto funcionamiento de los elementos del equipamiento.

Se encarga de detectar fallos y problemas de productividad de la instalación de forma centralizada. Esto permite tener un mantenimiento o reparación rápidamente y evitando grandes pérdidas.

Además, monitorizar la instalación permite hacer previsiones de la energía generada y demandada teniendo en cuenta las condiciones climatológicas. Garantiza la estabilidad de la red.

La monitorización se puede realizar a través de un software que se instala en el inversor o inversores para recopilar los datos de producción. Estos son enviados a una plataforma desde donde se pueden observar y gestionar estos datos.

2.2.15.-Elementos de la conexión a la red y regulación

- Sistema anti vertido: Es un dispositivo instalado en la modalidad de autoconsumo sin excedentes que se encarga de controlar el excedente de energía producido y que no se ha inyectado en la red pública. Se instala entre el sistema de producción de energía y la conexión a la red.
- Regulador de carga: Es un dispositivo electrónico que se encarga de dirigir y controlar el estado de las baterías para garantizar un llenado óptimo de estas y alargar su vida útil. Brinda protección contra sobrecargas. Se instala entre el campo fotovoltaico y las baterías. Se pueden dividir en dos tipos:
 - **MPPT:** Permite hacer trabajar a los paneles siempre en el punto de máxima potencia. Es un dispositivo tipo convertidor DC-DC que adapta la tensión generada por los paneles fotovoltaicos a la que necesitan las baterías para cargarse. Trabaja con los módulos a la tensión más adecuada en cada momento, ya sea para extraer la máxima potencia o para limitarla en caso de carga de baterías.

- **PWM:** Su funcionamiento se basa en cortar el paso de energía entre los módulos y las baterías cuando estas se han cargado completamente. Para funcionar correctamente necesita tener el mismo voltaje nominal que los paneles solares y las baterías. Su principal desventaja es que hace trabajar a los módulos a la misma tensión de carga de la batería, lo que provoca pérdidas de energía.

Generalmente se utilizan los reguladores PWM para campos fotovoltaicos de baja potencia y los MPPT para cualquier instalación (son los más utilizados actualmente).

Paneles y Baterías	Tipo de Regulador
Paneles de 36 celdas y Baterías 12V	MPPT
Paneles de 48 celdas y Baterías 12V/24V	MPPT
Paneles de 54 celdas y Baterías 12V/24V	MPPT
Paneles de 72 celdas y Baterías 12V/24V	MPPT
Paneles de 144 celdas y Baterías 48V	MPPT
Paneles de 30 celdas y Baterías 12V	PWM
Paneles de 60 celdas y Baterías 24V	PWM
Paneles de 120 celdas y Baterías 48V	PWM

Tabla 4: Identificación de la mejor tecnología a utilizar en función del n° de celdas y el voltaje del banco de baterías.
Fuente: mpptsolar.com

CAPÍTULO 3. CONTENIDO

3.1.-Ubicación geográfica

El edificio público del cual se realiza el estudio es el Centro de Conservación y Restauración de la Filmoteca de Cataluña. Está situado en el Parque Audiovisual de Cataluña en el municipio de Terrassa, en la comarca del Vallés Occidental. Su dirección es Edificio I, BA L1. Carretera BV-1274, km1.

El edificio consta de 3000 m2 repartidos entre la planta baja y la planta subterránea. Su función es recuperar, preservar, restaurar y difundir el patrimonio fílmico catalán.

A continuación, se muestra su ubicación en Google Maps:



Figura 14: Ubicación del edificio en estudio. Fuente: Google Maps

A continuación, se pueden observar dos imágenes informativas sobre la duración de los días y de la media de energía solar incidente en la ubicación:

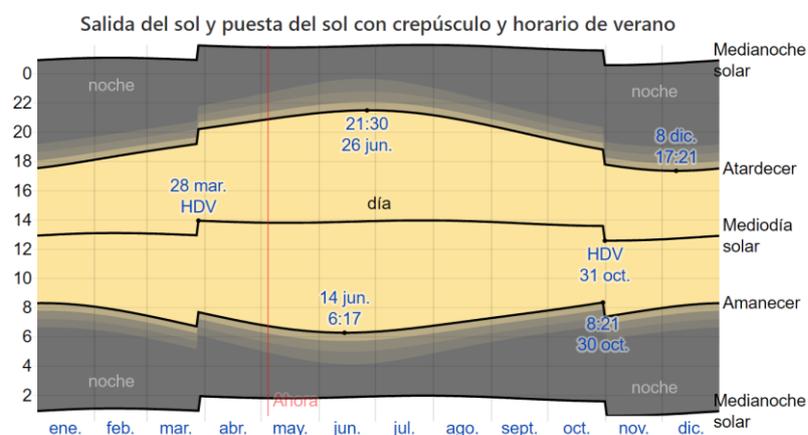


Figura 15: Salida del sol y puesta de sol con crepúsculo y horario de verano. Fuente: es.weatherspark.com

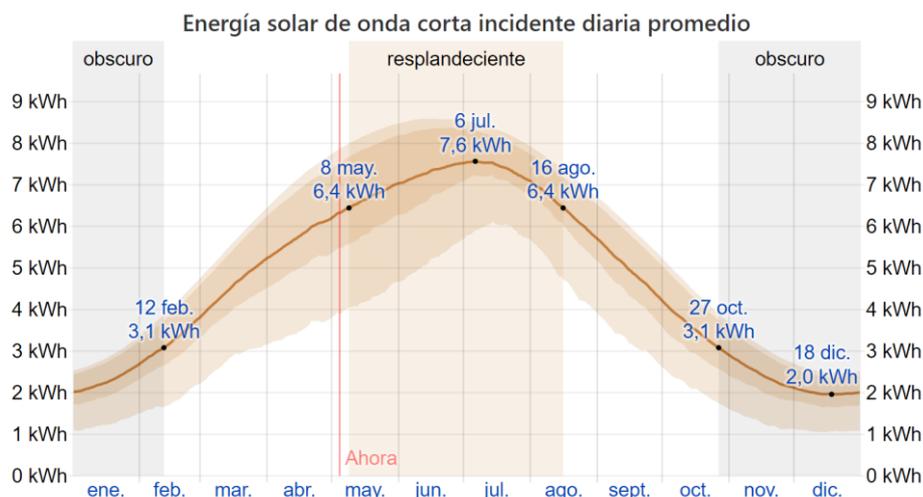


Figura 16: Energía solar de onda corta incidente diaria promedio. Fuente: es.weatherspark.com

3.2.-Radiación en la ubicación

Según los estudios de datos de radiación solar obtenidos en las diferentes estaciones meteorológicas situadas por toda Cataluña, en la gran parte del territorio se obtienen radiaciones diarias con un valor significativo que permite que las instalaciones solares fotovoltaicas sean rentables.

En la siguiente figura se observa un mapa de Cataluña que expresa las medias anuales de irradiación en MJ/m2.

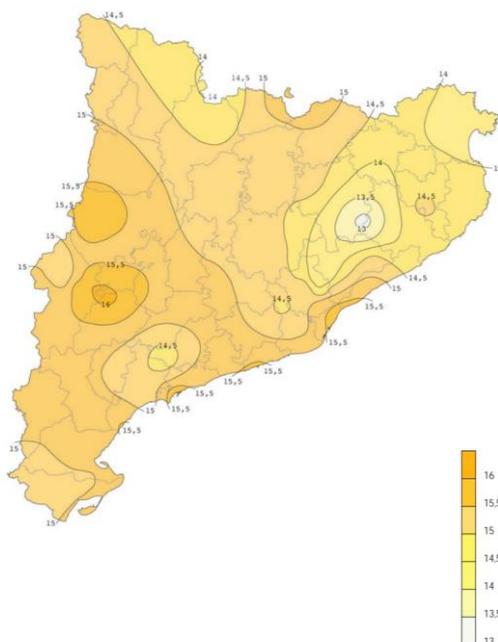


Figura 17: Mapa de irradiación global diaria, media anual (MJ/m2). Fuente: icaen.gencat.cat

Concretamente, el edificio en estudio se encuentra en una zona con una irradiación global diaria de 15 MJ/m².

PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System, es una aplicación oficial realizada por la Unión Europea donde se recogen numerosos datos sobre irradiación de cualquier territorio y con la que podemos calcular la producción fotovoltaica de cualquier zona de Europa, Asia y América.

Con PVGIS, obtenemos los siguientes datos del último año disponible 2016:

Mes	Irradiación plano horizontal (kWh/m ²)	Irradiación plano inclinación óptima (kWh/m ²)	Ratio irradiación difusa/global	Temperatura media (°C)
Enero	60.57	107.62	0.45	8.9
Febrero	86.04	130.85	0.38	8.1
Marzo	129.46	165.52	0.39	9.2
Abril	155.67	168.02	0.41	12.3
Mayo	193.55	187.73	0.39	15.5
Junio	216.03	199.26	0.36	21.1
Julio	228.79	216.71	0.28	24.2
Agosto	211.32	221.47	0.26	23.2
Septiembre	155.07	188.25	0.34	20.5
Octubre	99.23	139.46	0.42	15.8
Noviembre	66.43	112.06	0.43	10.6
Diciembre	65.96	133.4	0.33	7.5

Tabla 5: Datos de irradiación de la localización. Fuente: PVGIS

El ángulo óptimo anual tiene un valor de 38°. En los meses de invierno, la inclinación óptima es más elevada que en los meses de verano.

Para comprender mejor la proporción de irradiación difusa y directa, se puede observar la siguiente imagen:

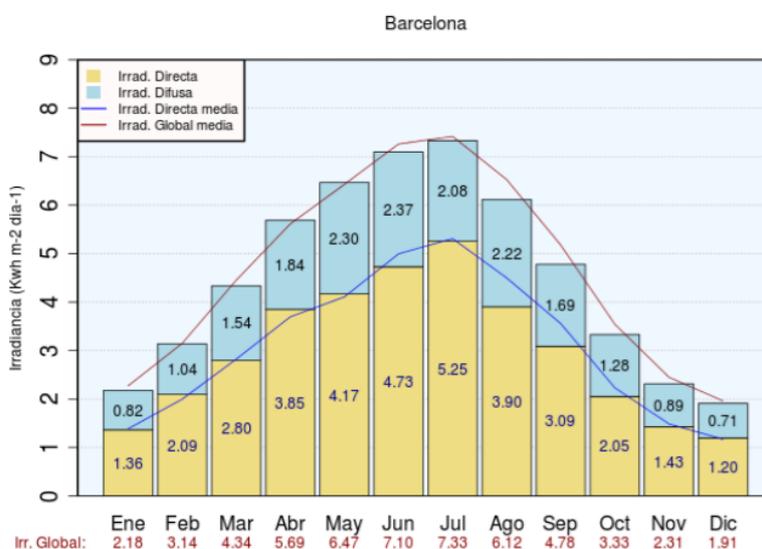


Figura 18: Gráfico de barras de irradiación directa y difusa de la provincia de Barcelona. Fuente: aemet.es

3.3.-Climatología

La climatología es un aspecto importante a tener en cuenta cuando se realiza una instalación de este tipo ya que determina la producción anual y la rentabilidad de las células fotovoltaicas.

Al contrario de lo que se cree generalmente, los módulos fotovoltaicos no son sólo eficientes en días soleados y calurosos. Cuando hay nubosidad, esta tecnología también es capaz de generar electricidad ya que, aunque la radiación incidente no es directa, gran parte de ella llega en forma de radiación difusa.

Además, las células fotovoltaicas son más eficientes con temperaturas templadas que con altas temperaturas ya que éstas afectan negativamente en el rendimiento de los dispositivos conductores o productores de electricidad.

En la ficha técnica de los módulos solares, se especifica su temperatura óptima de funcionamiento y el tanto por ciento de pérdida de eficiencia por cada grado centígrado superior a la temperatura ideal.

Por lo tanto, en la estación veraniega las placas solares son menos eficientes, pero se produce más electricidad por el aumento de horas de exposición al sol. Y por el otro lado, las placas en invierno son más eficientes, pero producen menos electricidad porque hay menos horas de sol.

Terrassa se encuentra en la comarca del Vallés Occidental, donde el clima es mediterráneo litoral en la llamada Plana Vallesana o mediterráneo subhúmedo si se refiere a las zonas más montañosas de la zona.

El estudio se realiza en el primer caso, donde se tienen precipitaciones comprendidas entre 600 mm y 650 mm anuales. El otoño es la estación del año más lluviosa, seguida de la primavera. El verano es la que menos precipitación registra.

Además, la temperatura media de la comarca oscila entre los 15 y 16 grados centígrados y predominan los vientos de componente oeste.

A continuación, se pueden observar algunos diagramas y gráficas con los datos de la estación meteorológica más cercana a la ubicación del edificio:

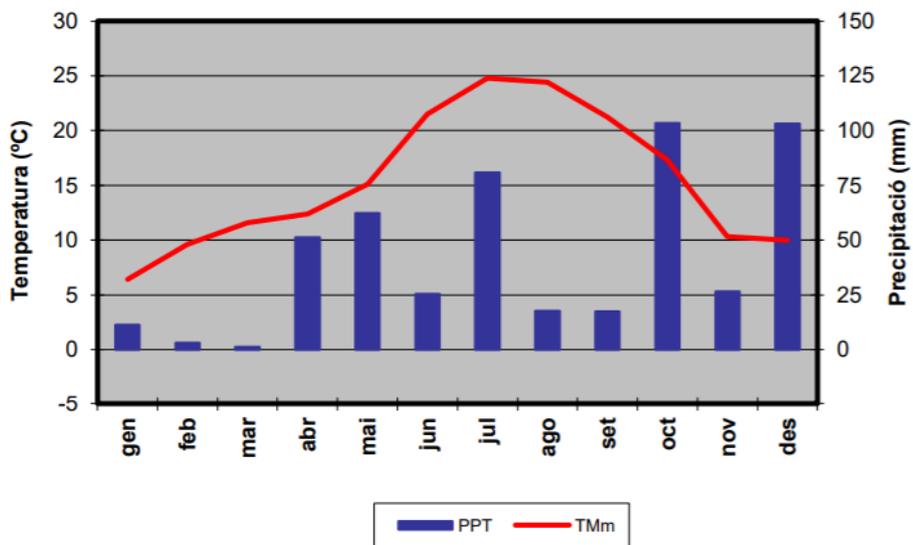


Figura 19: Diagrama de barras con las precipitaciones mensuales y la Temperatura media mensual. Fuente: static-m.meteo.cat

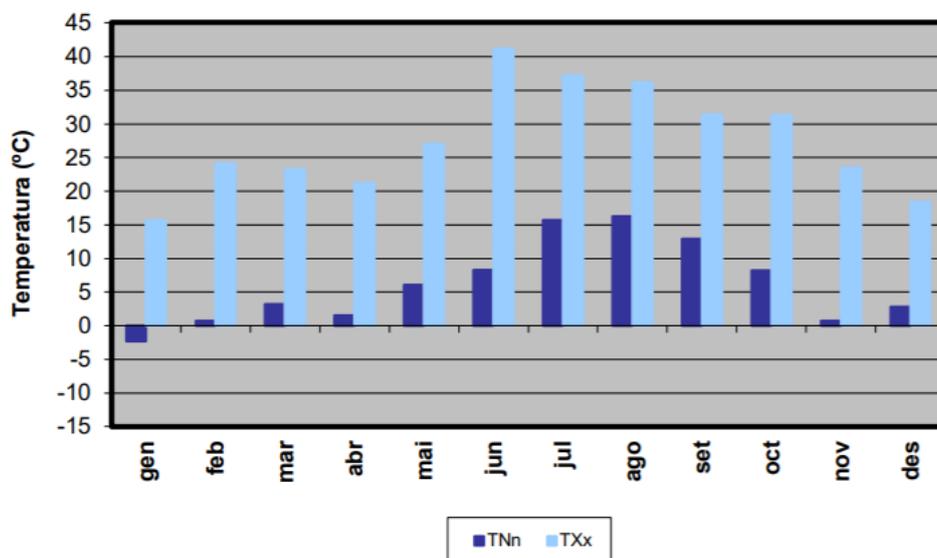


Figura 20: Diagrama de barras con las temperaturas máximas y mínimas. Fuente: static-m.meteo.cat

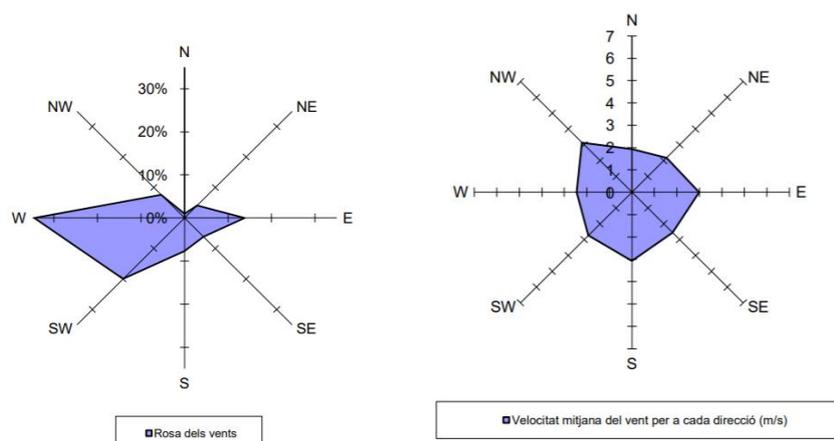


Figura 21: Rosa de vientos y velocidad media del viento por cada direcció. Fuente: static-m.meteo.cat

Anuario de datos meteorológicos 2019. Estación meteorológica TERRASSA- YK:

- Precipitación acumulada (PPT): 503,7 mm
- Temperatura media (TMM): 15,4 °C
- Temperatura máxima media (TXM): 21,6 °C
- Temperatura mínima media (TNM): 10,5 °C
- Temperatura máxima absoluta (TXX): 41,2 °C (28/06/2019)
- Temperatura mínima absoluta (TNN): -2,3 °C (11/01/2019)
- Velocidad media del viento (a 10 m): 2,6 m/s
- Dirección dominante (a 10 m): W
- Humedad relativa media: 68 %
- Media de la irradiación solar global diaria: 16,9 MJ/m²

3.4.-Estudio de módulos fotovoltaicos para elegir el mejor para la instalación

En el mercado de placas solares hay cientos de empresas que producen millones de módulos fotovoltaicos cada año. Para el caso que nos ocupa, necesitamos un producto capaz de aprovechar al máximo el espacio disponible para su instalación en la cubierta del edificio. Se debe encontrar un módulo fotovoltaico que destaque por una elevada potencia pico Wp y por un rendimiento elevado.

Para elegir el mejor producto para este caso se utiliza como referencia el estudio realizado por el PV Evolution Lab Institute, donde se ponen a prueba diferentes modelos de diferentes marcas.

Según sus resultados, algunos de los mejores fabricantes de módulos fotovoltaicos son CanadianSolar, Sharp, TrinaSolar, Longi.

A continuación, se muestra una tabla con algunos de los productos más interesantes de las marcas mencionadas anteriormente. Se pueden observar las características más importantes como el tipo de celda, la potencia nominal, la eficiencia, las dimensiones, el peso y el coste por unidad y por pallet (si está disponible).

Marca y modelo	Tipo de celda cristalina	Potencia nominal (Wp)	Eficiencia (%)	Dimensiones [mm x mm x mm]	Peso (kg)	Coste por unidad (€)
Canadian Solar						
KuMax CS3U-385MS	Mono	385	19,41	[2000 x 992 x 40]	22,5	147,83 x u 138,96 x u en pallet de 30
420 P	Poli	420	-	[2108 x 1048 x 40]	24,9	198 x u 174 x u en pallet de 27
Hiku CS3W-415P	Poli	415	18,79	[2108 x 1048 x 40]	24,9	Pallets de 27
Hiku5 CS3W-450MS	Mono	450	20,40	[2108 x 1048 x 40]	24,9	164 x u 154,16 x u en pallets de 30
HiDM CS1U.420 MS	Mono PERC	420	20,37	[2078 x 992 x 35]	23,4	- Pallets de 30
Sharp						
NUJD440	Mono PERC	440	19,90	[2108 x 1048 x 40]	25,5	- Pallets de 27
UN-JB395	Mono PERC	395	19,60	[2008 x 1002 x 40]	23,5	- Pallets de 26
TrinaSolar						
Vertex	Mono	400	20,80	[1754 x 1096 x 30]	21,3	136,62 x u Pallets de 36
Vertex S DE09-08	Mono	405	21,10	[1754 x 1096 x 30]	21,0	- Pallets de 36
Tallmax 405 TSM-405 DE15M	Mono PERC	405	16,80	[2024 x 1004 x 35]	22,8	156,60 x u 147,20 x u en pallet de 30
Tallmax 450	Mono	450	20,60	[2102 x 1040 x 40]	24,9	170,40 x u 160,18 x u en pallet de 30
Longi						
LR4-72HPH 440M	Mono PERC	440	19,80	[2115 x 1052 x 35]	24,0	- Pallets de 30

Tabla 6: Módulos fotovoltaicos de diferentes marcas más adecuadas para el estudio. Fuente: Catálogo CanadianSolar, Sharp, TrinaSolar, Longi

3.5.-Sistema de captación, fija o de seguimiento

La posición de las placas solares debe ser perpendicular a los rayos del sol incidentes en la superficie para captar la máxima radiación posible. Por lo tanto, el sistema de captación es un aspecto muy importante en una instalación de paneles fotovoltaicos ya que el rendimiento puede variar considerablemente dependiendo de su instalación.

Como se ha explicado anteriormente, la posición del Sol y la dirección de incidencia de su radiación varía a lo largo del día y a lo largo de las estaciones. Es adecuado entonces estudiar las diferentes opciones existentes en la actualidad y el rendimiento que se obtiene con cada una de ellas.

A continuación, se detallan las principales variantes de captación solar que podemos utilizar en este caso.

3.5.1.-Captación fija

La estructura de los paneles solares se mantiene siempre en la misma posición. En este caso se debe realizar un estudio sobre la inclinación de los paneles en función de la latitud de la instalación para encontrar el punto donde se obtiene mayor rendimiento.

Esta variante se caracteriza por:

- Coste de instalación y de mantenimiento bajo
- Gran fiabilidad
- No consume energía
- El peso es menor que los captadores con seguimiento

3.5.2.-Captación con seguimiento

La estructura de los paneles varía su posición en función de dónde se encuentra el Sol gracias a un equipo electromecánico. Este sistema imita el comportamiento de algunas plantas como el girasol para obtener la mayor cantidad de energía posible.

Esta variante se caracteriza por:

- Aumenta considerablemente la producción de energía. Se estima entre un 15-40% dependiendo de la latitud, la ubicación, la época del año y del tipo de seguimiento
- Coste de instalación y de mantenimiento elevado
- Consume energía eléctrica
- Tiene un peso significativamente superior a los sistemas de captación fija

Los captadores con seguimiento se pueden clasificar en dos tipos:

- **Seguimiento de 1 eje:** El soporte realiza un seguimiento limitado de la trayectoria del Sol ya que solo puede seguir o la inclinación o el azimut del Sol, pero no los dos a la vez.
- **Seguimiento de 2 ejes:** El soporte realiza un seguimiento completo de la trayectoria del Sol ya que puede seguir al mismo tiempo la inclinación y el azimut del Sol.

3.5.3.-Comparativa de las diferentes opciones de sistemas de captación

Mediante la herramienta PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System, se realiza una simulación de la producción de energía eléctrica de la instalación con los diferentes sistemas de captación mencionados anteriormente y estimando que la instalación tendrá unos 60 kWp.

La simulación se realiza con la inclinación óptima estimada por PVGIS para cada sistema de captación.

Mes	Captación Fija [kWh] Inclinación=35°	Captación de seguimiento con 1 eje vertical Inclinación= 56°	Captación de seguimiento con 1 eje inclinado Inclinación=41°	Captación de seguimiento 2 ejes
Enero	6853.1	8546.2	8314.4	8829.5
Febrero	6807.1	8473.5	8442.6	8633.2
Marzo	8392.4	10674.2	10827.2	10851.0
Abril	8210.9	10744.5	10914.6	11038.0
Mayo	8903.8	12281.8	12347.9	12830.9
Junio	8908.5	12724.6	12650.0	13385.0
Julio	9284.0	13243.4	13246.2	13875.0
Agosto	8872.4	12113.2	12275.9	12517.7
Septiembre	7827.3	10121.5	10302.1	10320.9
Octubre	7187.5	8900.6	8933.5	9028.4
Noviembre	6203.3	7692.8	7550.5	7896.4
Diciembre	6551.4	8066.7	7746.3	8353.2
Total Anual	94001,7	123583	123551,2	127559,2

Tabla 7: Comparación de sistemas de captación. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla, la producción con el sistema de captación fija tiene el valor más bajo. Además, las producciones eléctricas de los sistemas de captación de seguimiento de un eje tienen valores muy próximos entre ellos. Suponen un aumento de la eficiencia de un 23,95% aproximadamente respecto a la instalación fija. Por último, la producción con captación de seguimiento con dos ejes es la más eficiente de todas. Supone un aumento del 26,31% de eficiencia respecto a la instalación fija, aunque solo un 3,12% más de eficiencia respecto a los sistemas de seguimiento de un eje.

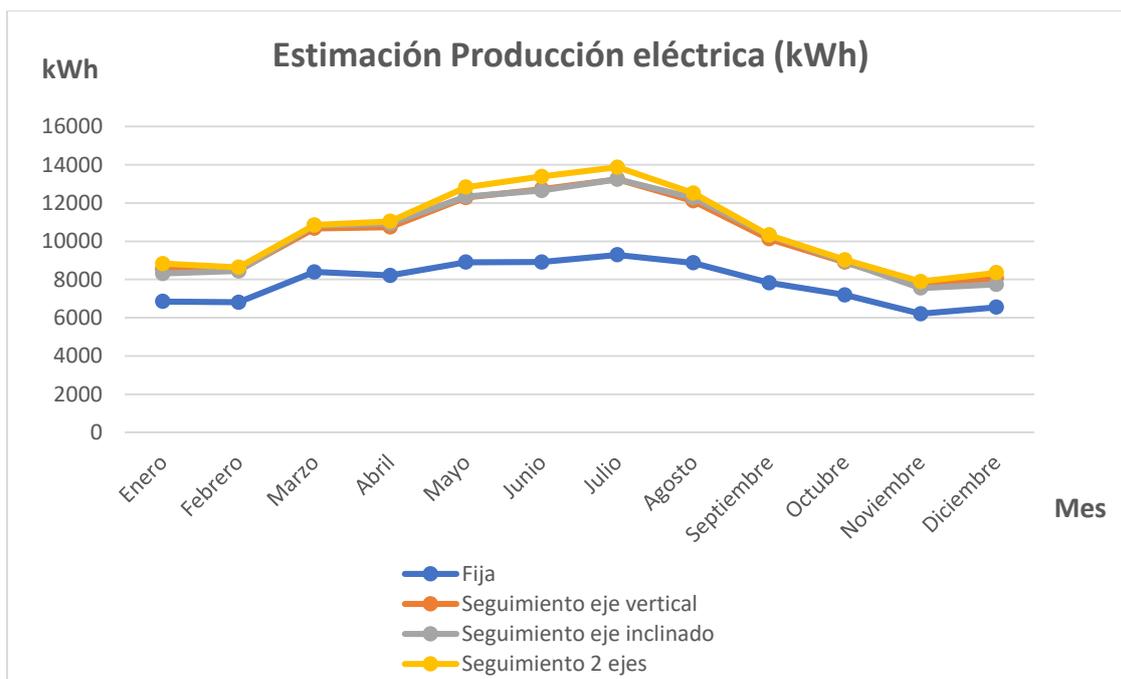


Figura 22: Gráfico de estimación de producción eléctrica de los tipos de sistema de captación. Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los valores de producción de cada tipo de instalación de captación, ahora es necesario valorar el coste económico de cada una de ellas para poder determinar cuál es la mejor opción.

Los precios de las estructuras mostrados en la siguiente tabla son una estimación realizada a partir de diferentes catálogos de venta de estructuras. El precio se refiere al coste por cada panel solar instalado.

Tipo de estructura	Coste estimado (€/u)
Fija	80
Seguimiento 1 eje vertical	225
Seguimiento 1 eje inclinado	225
Seguimiento 2 ejes	366

Tabla 8: Estimación de costes por tipo de estructura. Fuente: Elaboración propia

Para realizar la valoración económica de las diferentes opciones de captación, se estima que se instalarán aproximadamente 130 paneles solares que tendrán una potencia instalada de 60 kWp.

La opción de captación fija es la que menos energía eléctrica genera a lo largo del año, pero es 2'5 veces más barata que el seguimiento de un eje y 4,5 veces más barata que el seguimiento de dos ejes. Además, se trata de la estructura más sencilla y que requiere menos mantenimiento a medio y largo plazo, ya que no tiene elementos mecánicos.

Las opciones de captación de seguimiento de 1 eje suponen un aumento significativo en la producción de energía anual, pero tienen un coste de instalación y de mantenimiento bastante superior a la primera opción. También es necesario realizar un estudio del tejado del edificio para ver en qué condiciones es factible su instalación y si se debe reducir el número de placas fotovoltaicas, hecho que encarece aún más esta opción.

Por último, la captación de seguimiento de 2 ejes es la más eficiente en la producción de electricidad y también la opción más cara. Sin embargo, sólo supone un aumento del 3% en el rendimiento respecto a los seguidores solares de un eje. Requiere un mantenimiento más elevado y se debe analizar si el tejado del edificio está preparado para soportar el peso de esta opción.

Después de analizar las diferentes posibilidades del mercado, la opción más adecuada y la que se utilizará en este proyecto es la estructura de captación fija.

3.6.-Diseño 3D del edificio

Para analizar correctamente las dimensiones del edificio y sus características, se utiliza el programa de diseño Google Sketchup Up. Este software permite recrear la geometría en 3D de la construcción, emplazarla en la ubicación geográfica real y simular la evolución de las sombras a lo largo del día y de los días del año con la ayuda de Google Earth. Gracias al último software citado, también se han tomado las medidas del edificio para su correcta recreación.

Otra posibilidad que nos ofrece el programa es introducir paneles solares sobre las superficies del diseño. Esta opción tiene un gran rango de posibilidades ya que permite configurar el tipo de panel, su orientación, su inclinación, la separación entre filas de módulos, etc.

Además, con la ayuda del Plug-In Skelion Solar se puede realizar un estudio detallado de sombras y de las pérdidas que se producen por éstas en las diferentes superficies del edificio. A partir de este estudio, se definirán las mejores áreas para instalar los paneles solares y se descartarán aquellas en las que las sombras tengan una mayor incidencia.

A continuación, se puede observar el edificio visto en Google Earth y el modelo 3D realizado en su ubicación exacta.



Figura 23: Vista Nord-Oeste del Centro de Conservación y Restauración de la Filmoteca de Cataluña. Fuente: Google Earth

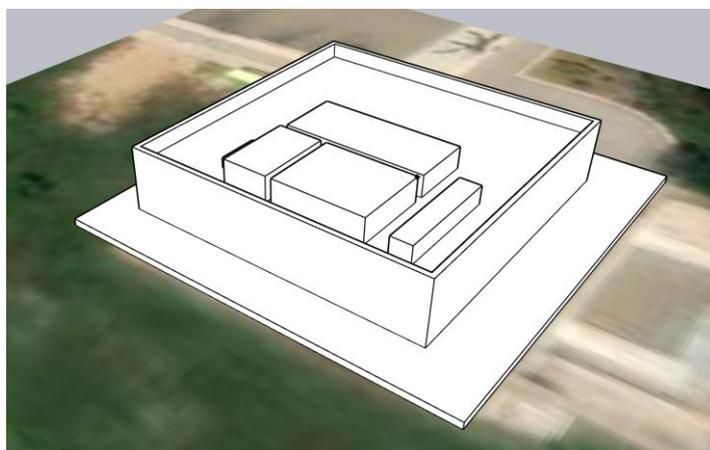


Figura 24: Vista Nord-Oeste del modelado 3D del Centro de Conservación y Restauración de la Filmoteca de Cataluña. Fuente: Elaboración propia



Figura 25: Vista Nord-Este del Centro de Conservación y Restauración de la Filmoteca de Cataluña. Fuente: Google Earth

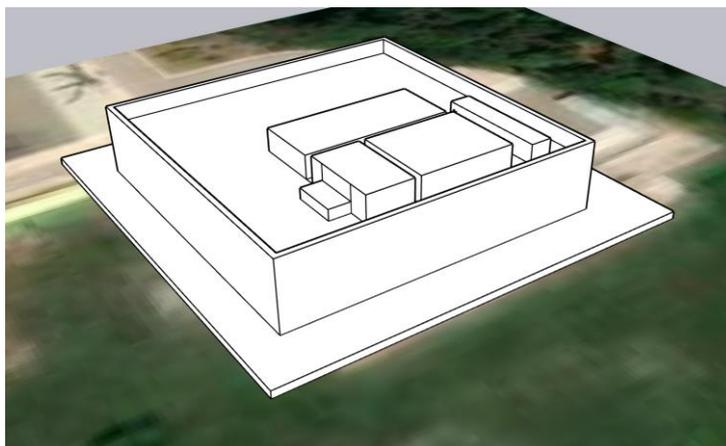


Figura 26: Vista Nord-Este del modelado 3D del Centro de Conservación y Restauración de la Filmoteca de Cataluña.
Fuente: Elaboración propia

Para reducir el número de superficies a estudiar, se dividen en un número determinado y se analizan cuáles de ellas pueden ser interesantes para la colocación de los paneles. Se descartan aquellas zonas donde no es posible ubicar paneles solares.

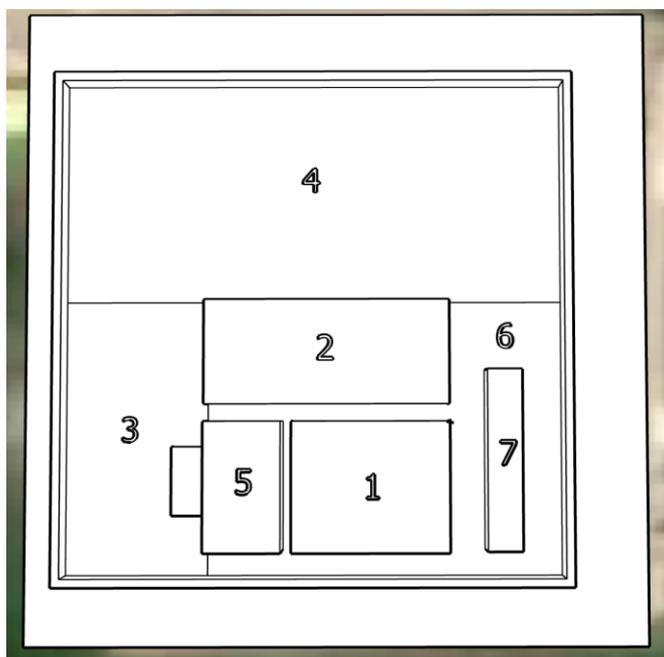


Figura 27: División de áreas del tejado. Fuente: Elaboración propia

En una primera inspección ocular en Google Earth, se puede descartar el área n°5 ya que se trata de una zona con tuberías de las instalaciones del edificio y la zona n°7 porque esta superficie está ocupada por los radiadores del sistema de ventilación.

Por lo tanto, las superficies a estudiar en detalle para ver las sombras que les afectan son: 1, 2, 3, 4 y 6.

3.7.-Estudio de sombras detallado

Para este apartado, se utiliza el Plug-in Skelion Solar de Google Sketchup. Con su ayuda se representará la incidencia de las sombras en las superficies de estudio del edificio. El Plug-in tiene en cuenta la ubicación geográfica y el fuso horario.

A continuación, se puede observar el recorrido de las sombras a lo largo del día. Concretamente, se han representado los solsticios de verano (21 de junio) y de invierno (21 de diciembre) ya que son los días en los que la sombra incide menos y más sobre las superficies.

Evolución de las sombras durante el solsticio de verano el 21 de junio:

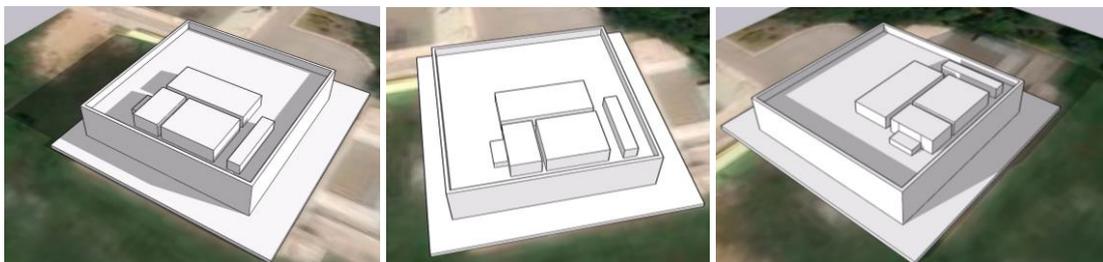


Figura 28: Evolución sombra durante el 21 de junio en 3 momentos representativos del día. Fuente: Elaboración propia

Evolución de las sombras durante el solsticio de invierno el 21 de diciembre:

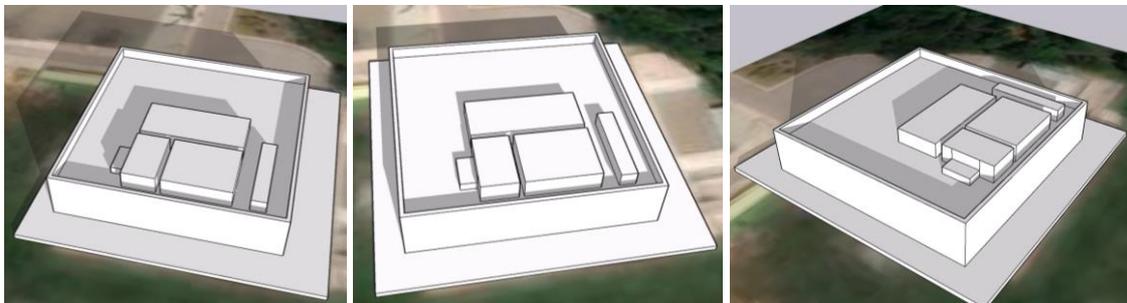


Figura 29: Evolución sombra durante el 21 de diciembre en 3 momentos representativos del día. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la pared que limita el edificio produce sombras principalmente en las primeras y últimas horas de luz del día. Además, las instalaciones de ventilación, electricidad y demás situadas en el tejado también producen sombras en algunas zonas potenciales de colocación de paneles.

No obstante, se dispone de muchas horas donde las sombras no afectan a las superficies en estudio.

La solución más óptima para generar el mínimo de sombras es que los paneles se dispongan de forma horizontal. Además, la inclinación de los módulos será de 0° en las zonas 1 y 2 debido a que tienen más altura que el resto de superficies y con inclinación se proyectarían sombras muy perjudiciales para el rendimiento del resto de zonas con paneles. El resto de paneles se dispondrán con la inclinación más óptima para la ubicación según Skelion Solar; 38 °.

A continuación, se pueden ver las posibilidades de instalación de módulos fotovoltaicas y sus características en las zonas que se estudian. Las dimensiones han sido obtenidas a partir de la herramienta de medir de Google Earth.

Zona	N° Paneles	Potencia (kWp)	Peso (kg)	Inclinación (°)	Pérdidas por sombras (%)	Dimensiones (m ²)
1	28	12,60	700	0	0,00	68
2	30	13,50	750	0	0,02	87
3	10	4,50	250	38	6,31	56
4	58	26,10	1450	38	3,31	345
6	5	2,25	125	38	18,32	24

Tabla 9: Posibilidades y características de las zonas del tejado. Fuente: Skelion Solar

Las pérdidas mensuales en % por sombras según el software Skelion Solar son las siguientes:

Zona	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,40	0,02
3	17,21	8,26	6,42	2,48	1,94	1,96	2,18	2,43	6,19	10,52	13,41	14,80	6,31
4	12,41	3,57	2,12	0,99	0,77	0,75	0,69	1,08	1,61	4,96	6,47	13,81	3,31
6	36,89	24,59	19,34	12,65	7,19	8,80	8,17	12,55	19,82	25,20	29,22	39,72	18,32

Tabla 10: Pérdidas mensuales por sombras en tanto por ciento. Fuente: Skelion Solar

Como se puede observar en los datos anteriores, en la zona 6 únicamente se pueden instalar de 1 a 6 paneles solares y presenta unas pérdidas muy elevadas por sombras. Por lo tanto, el área número 6 queda descartada para poner paneles por su ineficiencia.

Finalmente, las superficies más adecuadas para instalar paneles fotovoltaicos son las n°1, n°2, n°3 y n°4. Los datos del conjunto general de módulos solares son los siguientes:

N° Paneles	Potencia (kWp)	Peso (Kg)	Pérdidas por sombras (%)	Dimensiones (m ²)
126	56,7	3150	2,18	556

Tabla 11: Datos totales del conjunto de módulos fotovoltaicos. Fuente: Skelion Solar

Con la opción de introducción de paneles de Sketchup, se realiza una simulación de la instalación de paneles fotovoltaicos. En la siguiente imagen se puede observar la simulación del edificio con los paneles solares en las superficies óptimas de su cubierta.

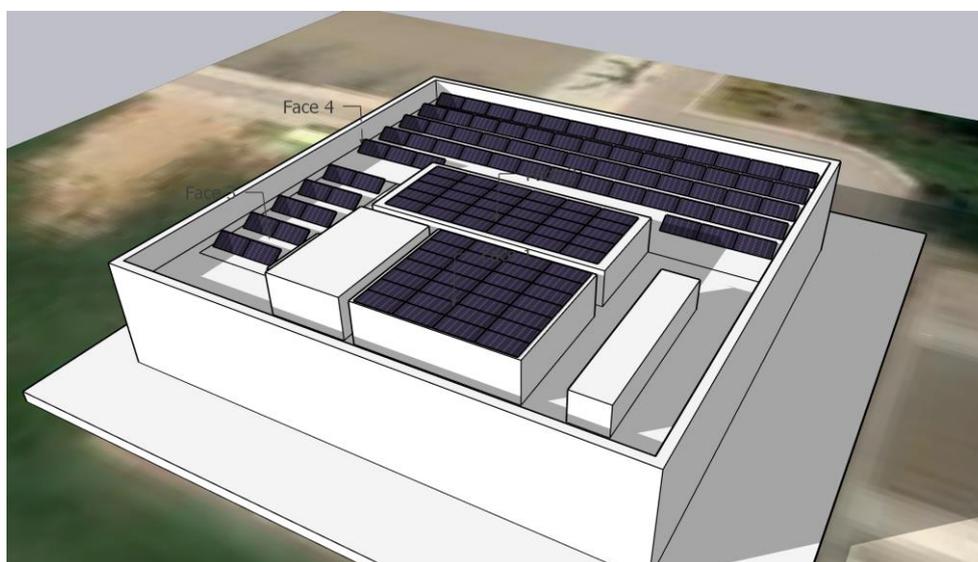


Figura 30: Instalación de paneles solares en las zonas más óptimas de la cubierta. Fuente: Elaboración propia

3.8.-Planteamiento y selección de alternativas

La instalación debe generar la electricidad para cubrir la mayor cantidad de consumo posible del edificio. Por lo tanto, la configuración de los diferentes elementos debe ser la más óptima.

El panel solar debe tener la mayor potencia posible con unas dimensiones coherentes al caso en estudio. Se trata de encontrar un producto que permita colocar el máximo número de paneles posibles en el espacio disponible y que sea de gran potencia.

Como se ha visto anteriormente en el estudio de sombras, la solución más óptima es la colocación de los paneles en forma horizontal. Además, la solución más eficiente es que los módulos ubicados en las zonas 1 y 2 del tejado tengan 0° de inclinación y el resto 38°.

3.8.1.-Panel solar

Para la selección del módulo fotovoltaico, hay que valorar el espacio limitado existente y que la potencia instalada sea suficientemente grande.

Consecuentemente, el panel solar debe tener una gran eficiencia y una potencia de las más elevadas que ofrece el mercado para las dimensiones requeridas: 400-450 Wp. A partir de la tabla número 6, se ha seleccionado de la empresa Canadian Solar el producto HiKu 5 CS3W-450MS. A continuación, se muestran sus características:

Características eléctricas STC*	
Potencia Nominal P_{nom} [W]	450
Tolerancia [W]	0/+10
Eficiencia η [%]	20,37
Tensión máxima V_{mpp} [V]	40,5
Corriente máxima I_{mpp} [A]	11,12
Tensión circuito abierto V_{op} [V]	48,7
Corriente de cortocircuito I_{sc} [A]	11,65
Características mecánicas	
Tipo de Celda	Mono cristalina
Número de celdas	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensiones [mm]	2108 X 1048 X 40
Peso [Kg]	24,9
Características térmicas	
Coefficiente de Temperatura P_{max}	-0.36 % / °C
Coefficiente de Temperatura V_{oc}	-0.29 % / °C
Coefficiente de Temperatura I_{sc}	0.05 % / °C

Tabla 12: Características panel solar Canadian Solar HiKu 5 CS3W-450MS. Fuente: Catálogo Canadian Solar

*En Condiciones Test Estándar (STC)

El precio de venta al público por unidad es 168,00 € y si se encargan pallets de 30 unidades el precio por unidad es de 157,92 €. Sin embargo, normalmente los distribuidores ofrecen descuentos de alrededor del 35-40 % del precio de venta al público.

3.8.2.-Estructura de soporte

Como se ha comentado en apartados anteriores, la estructura de soporte será fija. Las zonas 1 y 2 del tejado están más elevadas que las zonas 3 y 4. Para que los módulos fotovoltaicos de las primeras zonas no generen sombras sobre las segundas, el ángulo de inclinación será de 0°. En las zonas 3 y 4, el ángulo de inclinación es de 38° ya que es el más óptimo según la simulación realizada por el Plug-In Skelion de Sketchup.

A continuación, se pueden observar los precios de venta al público del catálogo Albasolar. Sin embargo, el precio definitivo será un 45% más barato por los descuentos que realiza este proveedor a sus clientes respecto el precio de venta al público.

N° módulos	60 y 72 celdas		
	Ref.	PVP (€)	Precio descuento 45% (€)
1	E-01-301	112	61,6
2	E-01-302	178	97,9
3	E-01-303	233	128,15

Tabla 13: Estructuras en triángulo para módulos horizontales. Fuente: Catalogo AlbaSolar

N° módulos	60 y 72 celdas					
	03.H			01.H		
	Ref.	PVP (€)	Precio descuento 45% (€)	Ref.	PVP (€)	Precio descuento 45% (€)
1	E-02-301	68	37,4	E-02-401	79	43,45
2	E-02-302	110	60,5	E-02-402	123	67,65
3	E-02-303	166	91,3	E-02-403	179	98,45

Tabla 14: Estructura coplanar: Módulos juntos por lateral corto. Fuente: Catálogo Albasolar

Se optará por una estructura en triángulo para los paneles de las zonas 3 y 4. Según la distribución de paneles realizada anteriormente, la opción más económica será de 4 unidades de 1 módulo, 5 unidades de 2 módulos y 18 unidades de 3 módulos.

Para las zonas 1 y 2 se instalarán estructuras coplanares 03H. La opción más económica son 14 unidades de 2 módulos y 10 unidades de 3 módulos.

3.8.3.-Inversor DC/AC

Los inversores se pueden conectar en paralelo para que sumen el valor más cercano a la potencia total de los módulos fotovoltaicos.

Generalmente, los inversores deben tener una potencia próxima a la instalada con los paneles solares para trabajar en un punto de eficiencia óptima. Por lo tanto, se instalará uno o varios inversores que sumen una potencia total máxima situada entre el 80% y el 120% del valor del conjunto de paneles.

Para un correcto dimensionamiento del número de inversores, se debe buscar un número no muy elevado porque complica la instalación, se necesita más espacio para ubicarlos y el coste de los dispositivos es elevado aunque sean de baja potencia.

A continuación, se puede observar una tabla con las diferentes marcas que ofrece el catálogo de Albasolar y los modelos más interesantes para esta instalación.

Marca	Modelo	Código	Potencia Nominal (kW)	Descripción	PVP (€)
KOSTAL					
Trifásico con opción batería	Plenticore 10	IR-05-310	10	Vcc: 120-1000 V 3 MPPT	2896
Trifásico sin batería	PIKO 15	IR-05-515	15	Vcc: 160-1000 V 3 MPPT	3230
	PIKO 17	IR-05-517	17	Vcc: 160-1000 V 3 MPPT	3332
	PIKO 20	IR-05-520	20	Vcc: 160-1000 V 3 MPPT	3432
	PIKO 36 EPC	IR-05-536	37	Vcc: 580-1100 V 1 MPPT	3534
	PIKO CI 30	IR-05-730	30	Vcc: 1000 V 2 MPPT	3643
FRONIUS					
Trifásico sin batería	SYMO 15.0-3-M	IR-01-515	15	Vcc: 200-1000V 2 MPPT	3392
	SYMO 20.0-3-M	IR-01-520	20	Vdc: 200-1000V 2 MPPT	3698
Trifásico con batería	SYMO GEN 24 PLUS	IR-01-710	10	Vdc: 80-1000 2MPPT	4413

SMA					
Trifásico	STP 10-40	IR-02-025	10	Vin: 125-850 V 2 MPPT	2859
HUAWEI					
Trifásico no híbrido	Sun 2000-20 KTL MO	IR-03-220	20 kW	Vdc: 160-950 V 2 MPPT (Precisa accesorio)	3269
Accesorio	Smartlogger 3000 ^a -01	IR-03-003	-	Para monitorización	853
	Dongle-WLAN	IR-03-004	-	Para monitorización	106

Tabla 15: Inversores más interesantes para el caso. Fuente: Albasolar

Hay muchas opciones con características muy parecidas en el mercado. Se optará por el inversor de Kostal PIKO 17.

3.9.-Simulación con PVsyst

Se trata de un programa informático que permite el estudio, la simulación y el análisis de datos de sistemas fotovoltaicos.

Con el fin de simular exactamente el sistema ideado para este estudio y tener unos resultados fiables, PVsyst nos permite establecer al detalle la configuración deseada para la instalación fotovoltaica. Los parámetros principales a definir son la orientación de los módulos, los paneles solares, los inversores, las pérdidas, el consumo del edificio y el sistema de almacenamiento. Además, también se puede definir la línea de horizonte de la ubicación (sombreado lejano) y el sombreado cercano.

3.10.- Recopilación de datos

3.10.1.-Datos de consumo

Los datos de consumo son muy importantes para la realización de este tipo de estudios. Con el conocimiento de las necesidades energéticas del edificio en cuestión, se puede determinar correctamente el dimensionamiento de la instalación y sus características. Por lo tanto, se optimiza el presupuesto necesario para su realización.

Tanto mi tutor Álvaro Luna como yo hemos intentado ponernos en contacto con los responsables del Centro de Conservación y Restauración de la Filmoteca de Cataluña. Se han realizado diferentes escritos para solicitar los datos de consumo.

Desafortunadamente no ha sido posible conseguirlos, lo que ha supuesto un gran hándicap para la determinación de la mejor solución para el caso.

Como solución, hemos buscado un edificio con unas dimensiones similares y con unos requisitos energéticos parecidos al Centro de Conservación y Restauración para que el estudio sea lo más próximo a la realidad posible. La ubicación elegida para tener en cuenta sus datos de consumo se trata de la Biblioteca del campus ESEIAAT de la UPC de Terrassa.

Sirena es un sistema de información de recursos energéticos y agua de la UPC con el que se pueden consultar los datos de consumo de la UPC, de sus campus y de sus edificios.

A continuación, se puede observar los datos de consumo de la Biblioteca de la ESEIAAT. El año seleccionado es 2019 ya que los valores del año 2020 no corresponderían al consumo habitual del edificio debido a la situación provocada por la pandemia del COVID-19.

Mes	Consumo (kWh)
Enero	18.521,39
Febrero	14.027,01
Marzo	14.173,72
Abril	10.398,12
Mayo	14.811,70
Junio	20.740,46
Julio	14.860,72
Julio	2.515,39
Agosto	18.482,16
Setiembre	20.607,30
Octubre	19.337,43
Noviembre	17.889,95
Diciembre	18.521,39

Tabla 16: Consumo mensual 2019 Biblioteca TR9 ESEIAAT. Fuente: Sirena

En la siguiente figura se puede observar la evolución del consumo de manera más gráfica:

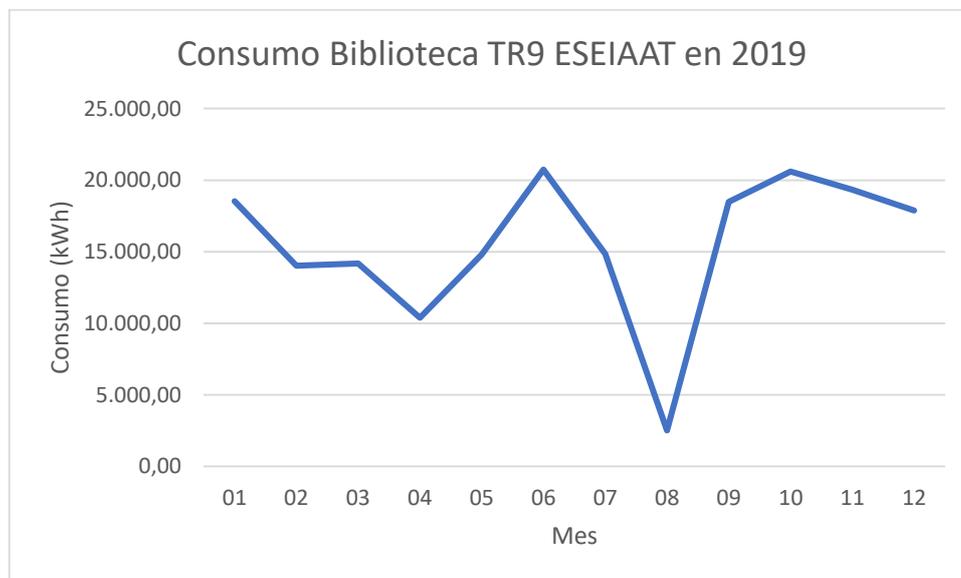


Figura 31: Evolución consumo mensual 2019 Biblioteca TR9 ESEIAAT

Las necesidades energéticas de la biblioteca varían de manera muy significativa en función del mes. Estos crecimientos y decrecimientos del consumo tan abruptos están provocados por la actividad académica del momento:

Los meses de enero, junio, octubre y diciembre son los que tienen más consumo eléctrico, coincidiendo con los períodos de exámenes y alta actividad. Normalmente se amplían horarios y días de apertura para que los estudiantes puedan estudiar.

Otros meses como febrero, marzo, abril y julio tienen menos consumo ya que son períodos post-exámenes y/o post vacacionales.

El consumo es mínimo en agosto por ser período vacacional.

¿Corresponden estos picos y valles de consumo de electricidad con la realidad del Centro de Conservación y Restauración?

Seguramente no. El edificio que se estudia en este proyecto muy probablemente no experimenta unos crecimientos y decrecimientos tan importantes a lo largo del año. Su actividad es mucho menos variable y por lo tanto el consumo es más constante.

Para tener una visión más realista, se utilizará el consumo medio mensual durante el año de la biblioteca como consumo mensual del edificio de la Filmoteca de Cataluña. Evidentemente, sea cuál sea la actividad que se desarrolla en un edificio, el consumo de energía eléctrica sufre variaciones por los cambios de las condiciones climatológicas durante el año.

El promedio de consumo mensual a partir de los valores de la tabla número 17 es de 15.530,45 kWh. Esto supone un consumo anual de 186.365,4 kWh.

3.10.2.-Datos de producción

A partir de la simulación con PVsyst, se han obtenido los siguientes datos de irradiación, producción energética y rendimiento:

Mes	Irradiación horizontal global (kWh/m^2)	Irradiación horizontal difusa (kWh/m^2)	Incidencia global en el plano receptor (kWh/m^2)	Irradiación efectiva (kWh/m^2)
Enero	63.8	24.69	86.9	84.2
Febrero	81.9	32.69	102.5	99.7
Marzo	132.2	47.02	149.7	146.1
Abril	158.7	65.01	165.0	161.2
Mayo	195.1	67.24	191.1	186.6
Junio	209.8	83.69	201.9	197.4
Julio	215.0	77.30	209.2	204.4
Agosto	188.1	71.23	192.6	188.4
Setiembre	136.7	54.03	149.1	145.5
Octubre	98.4	44.31	116.2	113.3
Noviembre	64.0	28.22	84.5	81.9
Diciembre	55.6	21.60	79.6	76.8
Total	1599.4	617.02	1728.3	1685.4

Tabla 17: Datos de irradiación de la simulación. Fuente: PVsyst

Mes	Energía efectiva a la salida del generador (kWh)	Energía inyectada en la red (kWh)	Rendimiento
Enero	4.600	4.457	0.904
Febrero	5.410	5.243	0.902
Marzo	7.730	7.484	0.881
Abril	8.440	8.169	0.873
Mayo	9.540	9.230	0.852
Junio	9.990	9.665	0.844
Julio	10.210	9.870	0.832
Agosto	9.430	9.118	0.835
Setiembre	7.430	7.182	0.850
Octubre	5.930	5.731	0.870
Noviembre	4.410	4.265	0.890
Diciembre	4.200	4.065	0.901
Total	87.340	84.478	0.862

Tabla 18: Datos de producción y rendimiento. Fuente: PVSyst

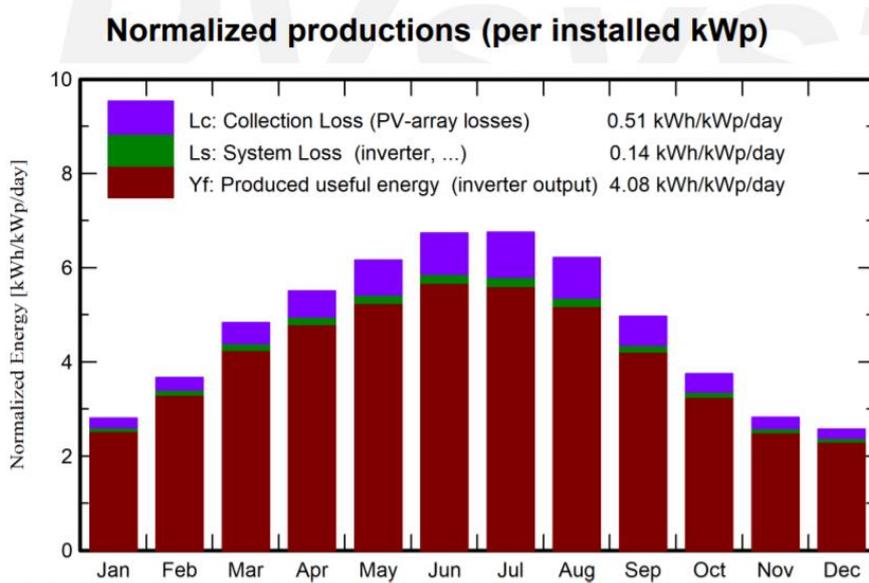


Figura 32: Diagrama de Producción. Fuente: PVSyst

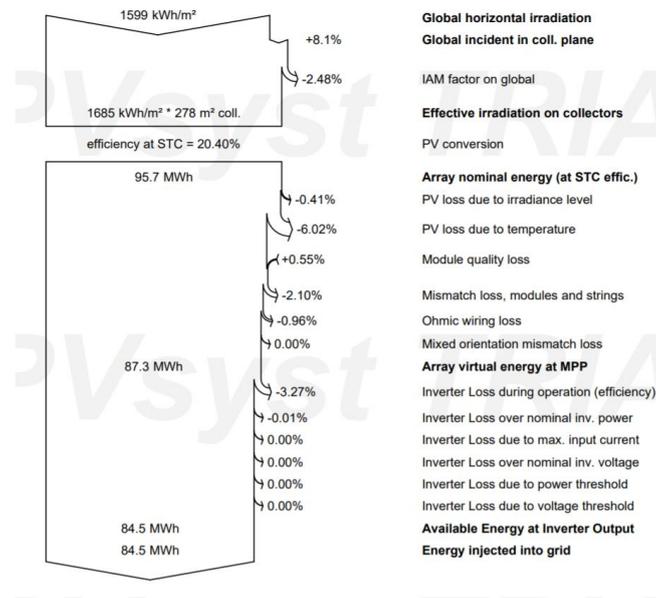


Figura 33: Diagrama de pérdidas. Fuente: PVSyst

3.11.-Discusión sobre la modalidad de la instalación

Una vez vistos los datos de consumo del edificio en estudio y los datos de producción proporcionados por la simulación del sistema fotovoltaico, se debe definir qué modalidad de autoconsumo tendrá la instalación.

Antes de tomar esta decisión, es preciso saber si el equipo contará o no con baterías para almacenar los excedentes de producción en caso de que se produzcan. Para que esta discusión sea representativa de la realidad, es necesario saber y comparar los datos de producción y consumo por horas. De esta manera, se conocerán las horas en las que la producción es superior al consumo y hay un excedente que se puede almacenar y las horas en que el consumo es superior a la producción de energía y se necesita electricidad de la red pública.

Para este apartado, se utilizarán los datos de producción de la instalación fotovoltaica del Edificio Gaia TR14 del campus de la ESEIAAT disponibles en la aplicación de Sirena. La finalidad de esto es obtener unos datos de producción de un sistema real y poder realizar la comparación con ellos.

Esta instalación tiene una potencia fotovoltaica instalada de 25 kWp y el sistema dimensionado en PVSyst es de 56,7 kWp de potencia. Por lo tanto, se debe aplicar un factor de corrección de $\frac{56,7 \text{ kWp}}{25,0 \text{ kWp}} = 2,268$ por el que se multiplican los valores de producción para que sean representativos de la instalación de 56,7 kWp que se ha ideado.

A continuación, se pueden observar las gráficas comparativas de consumo y producción de los 12 meses del año 2019.

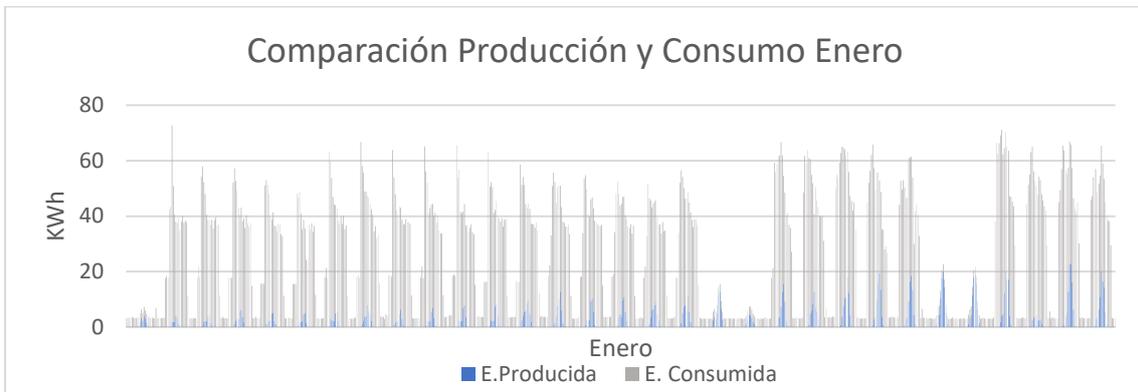


Figura 34: Comparación producción y consumo Enero. Fuente: Elaboración propia

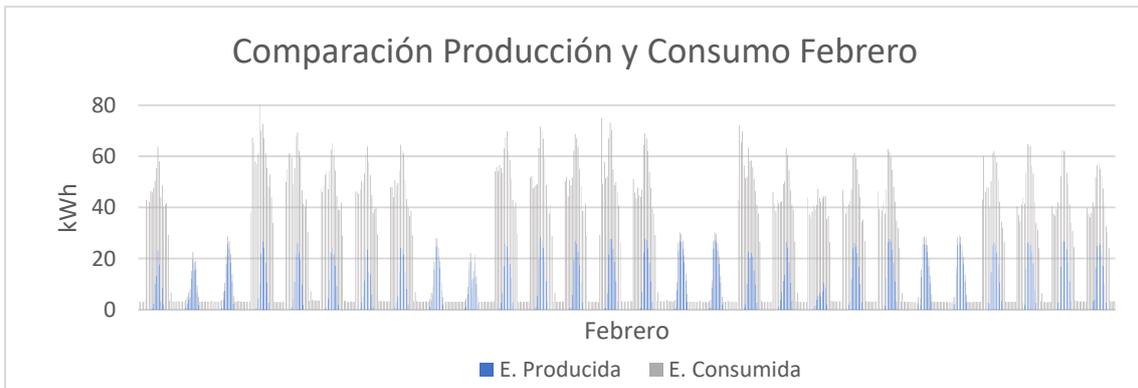


Figura 35: Comparación producción y consumo Febrero. Fuente: Elaboración propia

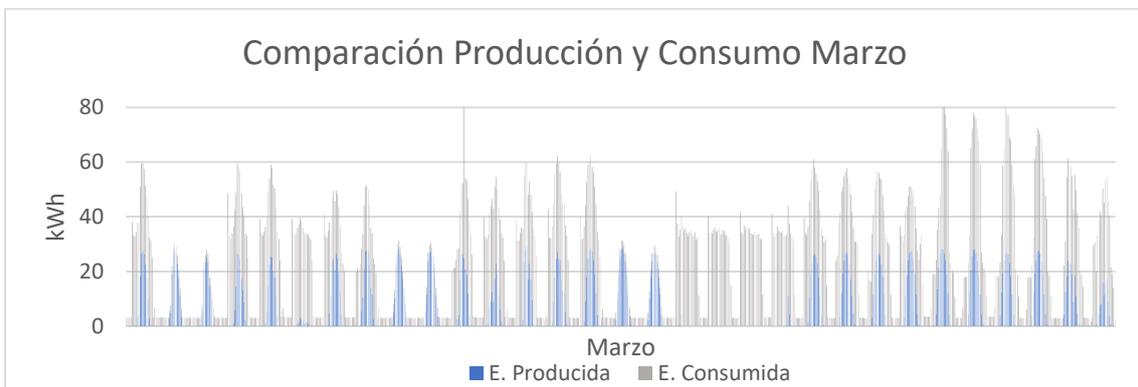


Figura 36: Comparación producción y consumo Marzo. Fuente: Elaboración propia



Figura 37: Comparación producción y consumo Abril. Fuente: Elaboración propia

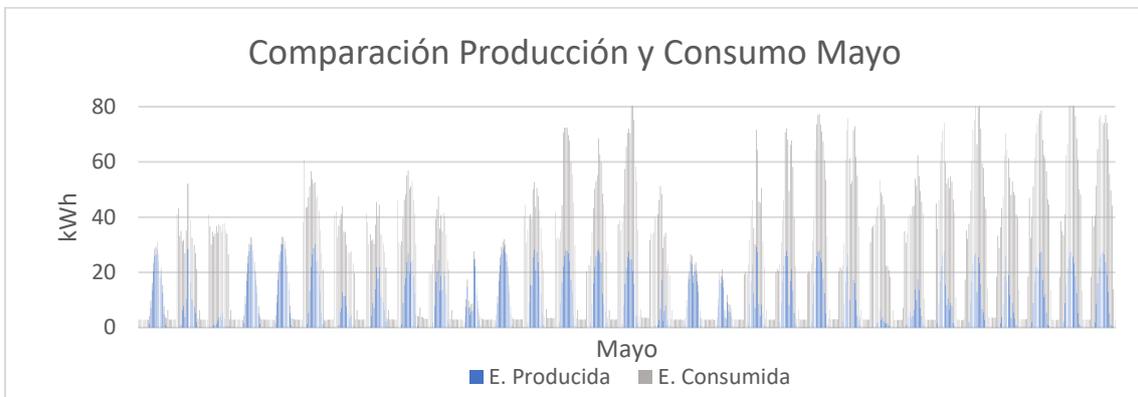


Figura 38: Comparación producción y consumo Mayo. Fuente: Elaboración propia

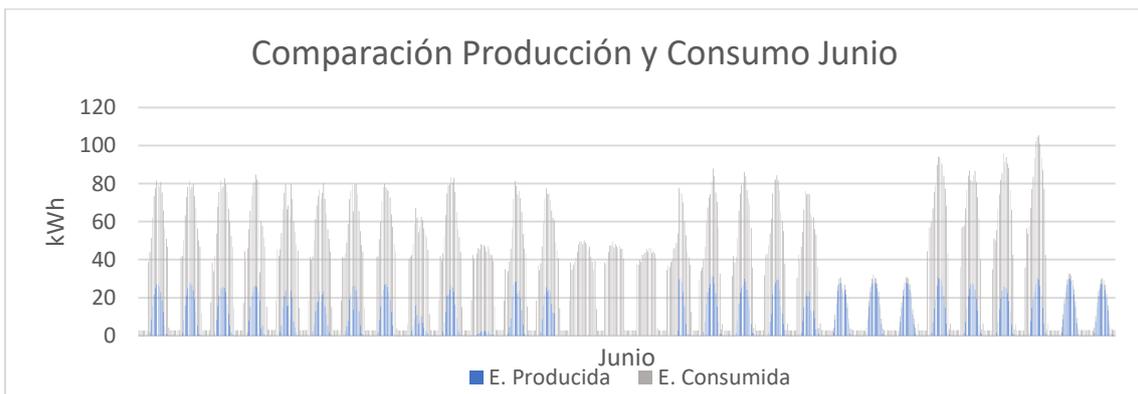


Figura 39: Comparación producción y consumo Junio. Fuente: Elaboración propia

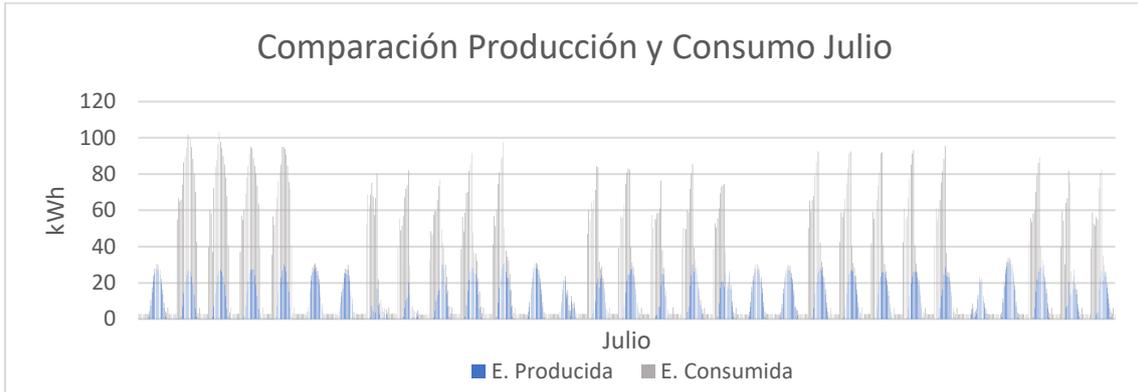


Figura 40: Comparación producción y consumo Julio. Fuente: Elaboración propia

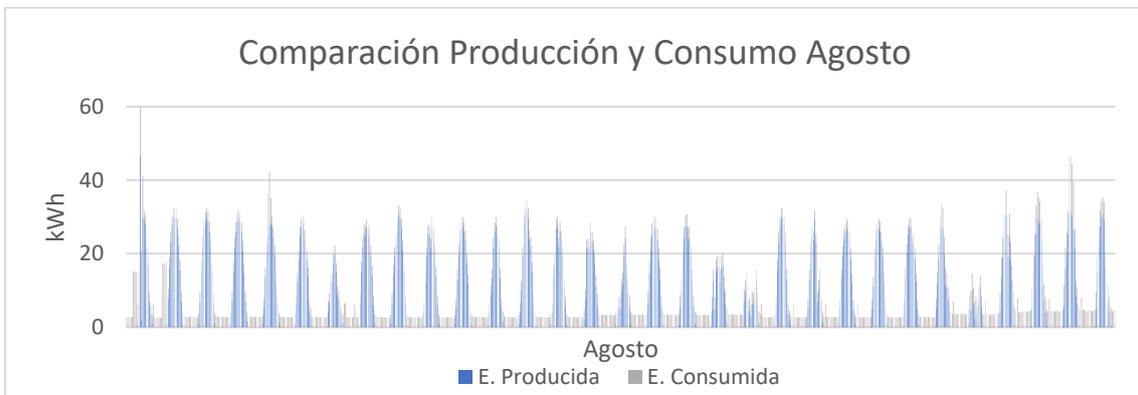


Figura 41: Comparación producción y consumo Agosto. Fuente: Elaboración propia

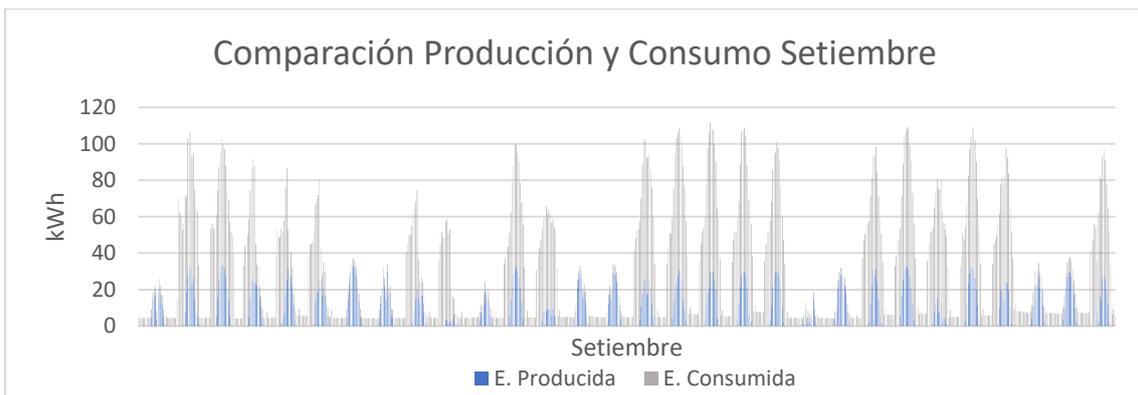


Figura 42: Comparación producción y consumo Setiembre. Fuente: Elaboración propia

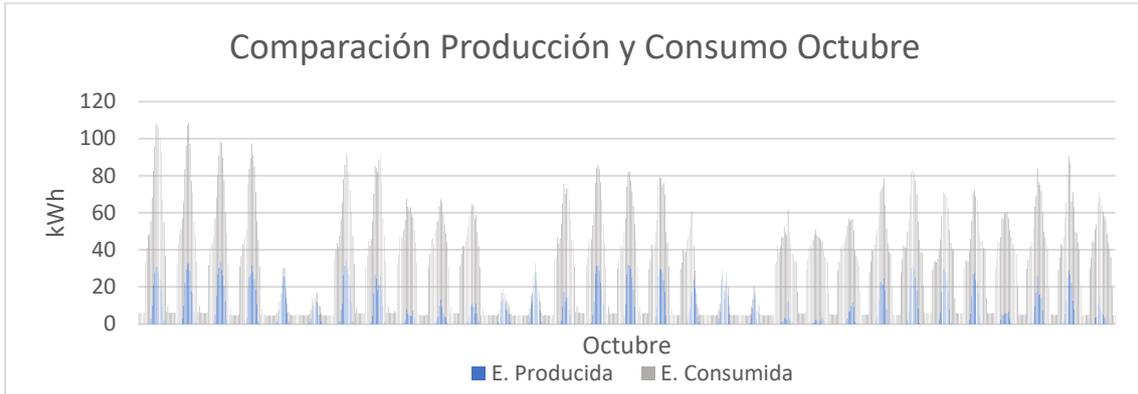


Figura 43: Comparación producción y consumo Octubre. Fuente: Elaboración propia

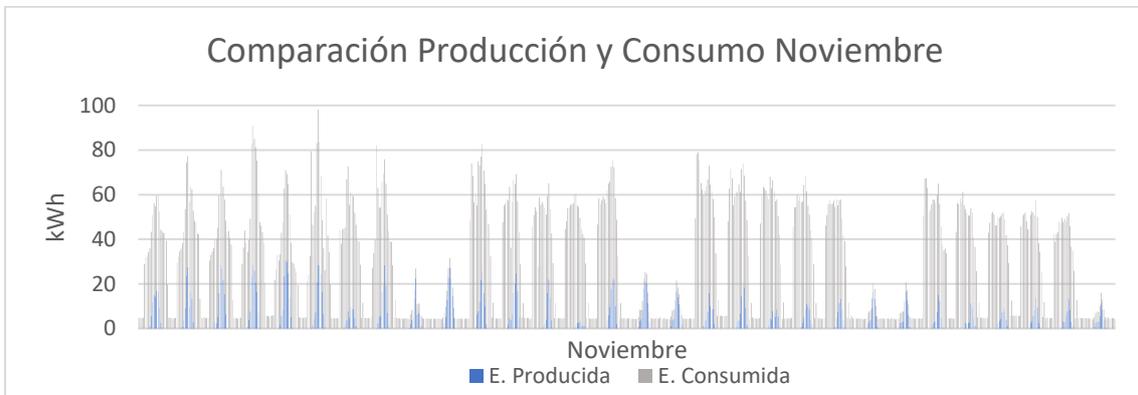


Figura 44: Comparación producción y consumo Noviembre. Fuente: Elaboración propia

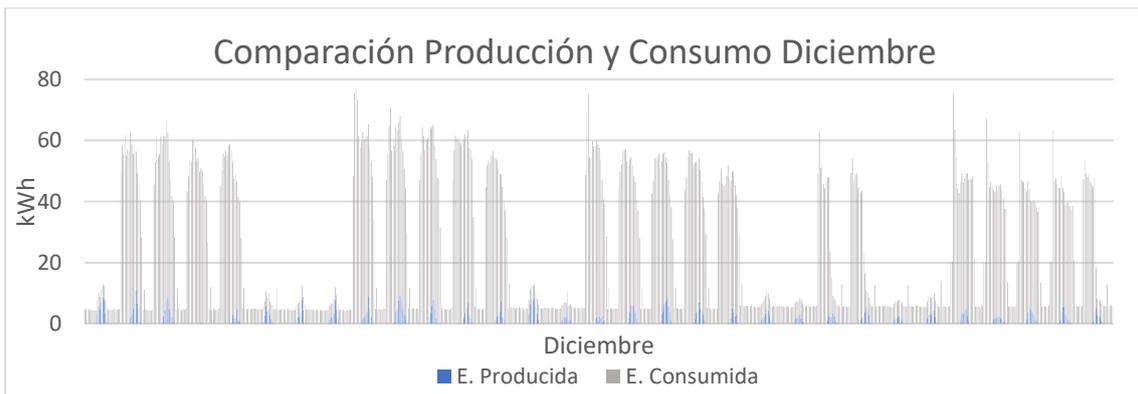


Figura 45: Comparación producción y consumo Diciembre. Fuente: Elaboración propia

Una vez analizados los datos, se puede concluir que en la gran mayoría de horas del año 2019 el consumo es superior a la producción de la instalación solar. Solo en momentos puntuales la producción es igual o ínfimamente superior al consumo.

Únicamente en el mes de agosto se puede observar que la producción es igual o superior a la electricidad consumida.

Finalmente se decide que la instalación solar fotovoltaica de este estudio no tenga baterías para almacenar el excedente de producción. Se optará por conseguir un contrato de compensación de excedentes con la empresa distribuidora correspondiente.

La modalidad de la instalación del Centro de Conservación y Restauración de la Filmoteca de Cataluña será la de Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simple.

3.12.-Proceso de tramitación de la instalación

Cataluña no tiene una normativa específica para la tramitación de instalaciones en autoconsumo y tramita a partir de la normativa estatal. La única peculiaridad de la tramitación catalana que afecta a este proyecto es que las instalaciones generadoras se escriben en un registro de instalaciones técnicas de seguridad industrial. No es necesaria ninguna documentación que avale los datos de la instalación descritos.

Según la Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo (IDAE), el proceso de tramitación consta de 17 pasos para la instalación fotovoltaica de Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simple.

A continuación, se explican los pasos:

1.-Diseño de la instalación:

La documentación depende del tipo de conexión a la red que se vaya a emplear y de la potencia instalada. Como en este caso se realiza una conexión de baja tensión y la potencia prevista es superior a 10 kW, es obligatorio realizar un proyecto técnico redactado y firmado por un técnico titulado competente.

Es necesario presentar la información y documentación técnica de la instalación: dimensionado, equipos y sus características, materiales utilizados, garantías, necesidades de mantenimiento, etc.

2.-Permisos de Acceso y Conexión y Avaes o garantías. Solicitud CAU.

Al tener una potencia superior de 15 kW, se deberá solicitar permisos de acceso y conexión en función de la potencia de instalación y también es necesario presentar avales y/o garantías. Se debe seguir el proceso regulado en el RD 1699/2011.

3.-Autorizaciones ambientales y de utilidad pública.

Al tener una potencia inferior a 100 kW, la instalación no requiere de trámites de impacto ambiental ni de utilidad pública porque no se encuentra en ningún espacio protegido.

Sin embargo, estos trámites son gestionados a nivel autonómico. En el caso de la comunidad autónoma de Cataluña no se requiere ningún trámite al respecto.

4.-Autorización administrativa previa y de construcción

Las instalaciones de producción de energía eléctrica con potencia no superior a 100 kW conectadas directamente a una red de tensión no superior a 1 kV (es decir en BT), ya sea de distribución o a la red interior de un consumidor, quedan excluidas del régimen de autorización administrativa previa y de construcción

5.-Licencia de obras e impuesto de construcciones y obras (ICIO)

Se deberá solicitar permiso de obras según la normativa municipal vigente, en este caso Terrassa.

6.-Ejecución de instalaciones

Las instalaciones de autoconsumo con excedentes de potencia menor o igual a 100 kW, y conectadas en BT se ejecutarán de acuerdo al REBT, ITC-BT-40.

7.-Inspección inicial e inspecciones periódicas

Las instalaciones al amparo del REBT no precisan de pasar un trámite de inspección inicial. Además, las inspecciones periódicas se realizan cada 5 años para BT.

8.-Certificados de instalación y/o certificados fin de obra

La empresa instaladora debe emitir un Certificado de Instalación firmada por un instalador de baja tensión de la propia empresa. Para las instalaciones con una potencia superior a 10 Kw y conectada a BT, también es necesario un certificado de final de obra firmado por un técnico competente que certifique que el proyecto se ha realizado acorde a lo establecido en el proyecto técnico de la instalación.

9.-Autorización explotación

Este trámite está gestionado a nivel autonómico. En los casos de que la instalación se realice bajo la normativa del REBT y la potencia sea menor o igual a 100kW, la autorización de explotación se aproxima al certificado de instalación. Consecuentemente, no es necesario ningún otro trámite.

10.-Contrato de acceso para la instalación de autoconsumo

Si existe un contrato de suministro del consumidor, las instalaciones sin excedentes de cualquier potencia y conexión no necesitan suscribir un contrato específico con la compañía distribuidora. Únicamente hay que hacer una comunicación previa para modificar el contrato y reflejar la modalidad de autoconsumo.

Si no existe un contrato de suministro del consumidor, se deberá suscribir a uno nuevo reflejando la modalidad de autoconsumo.

11.-Contrato de suministro de energía servicios auxiliares

Si la empresa instaladora habilitada certifica que los servicios auxiliares se pueden considerar despreciables, no es necesario suscribir un contrato de suministro específico para el consumo de estos servicios; esa situación se dará en los casos en que se cumplan todas estas condiciones:

- i. Instalaciones próximas en red interior.
- ii. Instalaciones de generación de tecnología renovable de potencia menor de 100 kW.
- iii. En cómputo anual, la energía consumida por estos servicios auxiliares sea inferior al 1% de la energía neta generada por la instalación

Las instalaciones con excedentes que no cumplan alguna de las condiciones anteriores, será necesario disponer de un contrato de acceso y consumo para los servicios auxiliares de producción.

12.-Licencia de actividad

Las instalaciones en autoconsumo CON excedentes acogidas a compensación, no realizan actividad económica por lo que este trámite no sería necesario.

13.-Acuerdo de reparto y Contrato compensación excedentes

Las instalaciones CON excedentes que deseen acogerse a compensación, deberán firmar un contrato de compensación de excedentes entre el productor y el consumidor asociado, para la compensación simplificada entre los déficits de sus consumos y la totalidad de los excedentes de sus instalaciones de generación asociadas.

14.-Inscripción en el Registro Autonómico de Autoconsumo

El RD 244/2019 habilita a las comunidades autónomas a crear sus propios registros, si bien es elección de cada comunidad autónoma crearlo o no. deberá remitir la información necesaria a la Dirección General de Política Energética y Minas para la inscripción en el Registro Administrativo de Autoconsumo.

Los titulares de las instalaciones en autoconsumo SIN excedentes con potencia menor de 100 kW y conectadas a BT, se encuentran exentos de realizar el trámite de inscripción.

15.-Inscripción en el Registro Administrativo de Autoconsumo de energía eléctrica

Este paso no supone ninguna carga administrativa adicional para los autoconsumidores, ya que es un procedimiento entre administraciones y se realizará por vía telemática.

16.-Inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones de Energía Eléctrica (RAIPRE).

Los titulares de instalaciones en autoconsumo con excedentes de potencia igual o inferior a 100 kW no precisan realizar el trámite de inscripción en RAIPRE. Será la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio competente en materia de energía quien realice la inscripción a partir de la información procedente del registro administrativo de autoconsumo.

17.-Contrato de representación de mercado

Existe la posibilidad de que las instalaciones con excedentes vendan directamente en el mercado eléctrico, para lo cual deberán darse de alta como sujetos de mercado generadores, debiendo realizar los trámites pertinentes exigidos por el operador del sistema y el operador del mercado.

3.13.-Contrato de compensación de excedentes

El propietario de la instalación debe tener un contrato de compensación de excedentes con una de las empresas comercializadoras de electricidad. Para este caso se debe buscar un contrato de compensación simple.

Generalmente los precios de compensación rondan los 0,05 € por kWh vertido a la red.

3.14.- Dimensionamiento instalación eléctrica

La instalación eléctrica de los sistemas fotovoltaicos se puede dividir en 2 partes; instalación de corriente continua e instalación de corriente alterna.

La parte de corriente continua comprende desde los módulos fotovoltaicos hasta la entrada del inversor. La parte de corriente alterna comprende desde la salida del inversor hasta la conexión con la red de distribución y la instalación eléctrica del edificio.

3.14.1.-Instalación de corriente continua

La distribución de los paneles fotovoltaicos es de 9 strings con 14 paneles cada uno. Para saber las características eléctricas de los strings, únicamente hay que multiplicar los valores de voltajes del panel por 14 ya que, al estar conectado en serie, los valores de las intensidades son los mismos que los de 1 panel.

Panel	
V_{max}	40,5 V
I_{max}	11,12 A
V_{op}	48,70 V
I_{sc}	11,65 A

Tabla 19: Características eléctricas panel. Fuente: Catálogo Canadian Solar

String	
V_{max}	567,00 V
I_{max}	10,96 A
V_n	681,8 V
I_n	11,6 A
$V_{oc}(-10^{\circ}\text{C})$	756 V
$V_n(60^{\circ}\text{C})$	497 V

Tabla 20: Características eléctricas string. Fuente: Elaboración propia

3.14.1.1.-Cableado DC

Los cables deben estar dimensionados en función de las condiciones de cada tramo de la instalación; la tensión, la intensidad y la longitud del cable. La longitud es un factor importante porque contra más grande es, más pérdidas de voltaje se producen y más sección deben tener los cables para compensarlo.

Como en este caso el cableado no estará enterrado, es interesante utilizar cables con una capa aislante importante para resistir a las inclemencias meteorológicas.

Para calcular la sección de los cables, se emplea la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{MPP} \cdot \rho}{\Delta V}$$

Donde:

S=Sección del cable

L=Longitud de la línea

I=Intensidad máxima de corriente en el cable

ΔV = Caída de tensión permitida

K=Conductividad eléctrica del cable

En este caso se utilizarán conductores de cobre con una resistividad de $\rho = 16,8 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$

Para el cableado de corriente continua, en el REBT no se especifica ningún valor de caída de tensión máxima. Sin embargo, en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red del IDEA se establece que la caída de tensión debe ser inferior al 1,5%.

Los datos y cálculos para la sección de los conductores en la parte de corriente continua son los siguientes:

-La intensidad nominal es $I_{MPP} = 11,12 A$

-La longitud del cable será: $L = 2,048 \cdot 14 + 0,04 \cdot 13 = 29,192 m \approx 30 m$

-La Caída de tensión será el 1,5% de la tensión total del string: $\Delta V = \frac{1,5}{100} \cdot 567,00 = 8,505 V$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{MPP} \cdot \rho}{\Delta V} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 11,12 \cdot 16,8 \cdot 10^{-9}}{8,505} = 1,32 mm^2$$

La sección mínima del cable de corriente continua del String será de $4 mm^2$, tal como especifica la ficha técnica del panel solar.

En el catálogo de Albasolar hay disponible cable solar DC de $4 mm^2$ con las siguientes características:

Código	Tensión máxima	Dimensión	Longitud	Precio	
CV-01-200	1500 V	$4 mm^2$	100 m	98 €	

Tabla 21: Datos cable solar DC. Fuente: Catálogo AlbaSolar

3.14.1.2.-Elementos de protección DC

Los inversores llevan incorporados sistemas de protección contra sobretensiones. Por lo tanto, únicamente habrá que dimensionar protecciones contra cortocircuitos.

Las protecciones deberán actuar cuando se sobrepase el valor de intensidad de cortocircuito de 11,60 A. Se utilizarán fusibles de 12 A y 1000 V, colocando 1 unidad por cada string de módulos. Además, los fusibles necesitan una base portafusibles para su colocación.

En el catálogo de AMB Greenpower hay fusibles de 1000 V y 12 A para corriente continua y su portafusibles:

Referencia	Tensión	Dimensión	Unidades por paquete	Precio por paquete	
ACCFUS0011	1000 V	10 x 38 mm	10	42,00 €	

Tabla 22: Características fusible elegido. Fuente: Catalogo AMB GreenPower

Referencia	Tensión	Intensidad	Dimensión	Precio por unidad	
ACCFUS0001	1000 V	25 A	10 x 38 mm	2,10 €	

Tabla 23: Características portafusibles elegido. Fuente: Catalogo AMB GreenPower

3.14.2.-Instalación de corriente alterna

3.14.2.1.-Cableado AC

Los datos y cálculos para la sección de los conductores en la parte de corriente alterna son los siguientes:

-La tensión de salida del inversor es 230 V

-La intensidad máxima de salida del inversor es $I_{CAmax} = 27,4 A$

-Según se especifica en el punto 5 de la ITC-BT 40 del REBT, la caída de tensión entre el inversor y el cuadro general de mando y protección no debe superar el 1,5% de la tensión nominal:

$$\Delta V = \frac{1,5}{100} \cdot 230 = 3,45 V$$

-Se considera una longitud de cable de 20 m.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{CAmax} \cdot \rho}{\Delta V} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 27,4 \cdot 16,8 \cdot 10^{-9}}{3,45} = 5,34 mm^2$$

La sección mínima del cable de corriente alterna será de $6 mm^2$, tal como especifica la ficha técnica del inversor.

En el catálogo de Albasolar hay disponible cable solar DC de $6 mm^2$ con las siguientes características:

Código	Tensión Max	Dimensión	Longitud	Precio	
CV-01-202	1500 V	$6 mm^2$	100 m	127 €	

Tabla 24: Datos cable solar AC. Fuente: Catálogo AlbaSolar

3.14.2.2.-Elementos de protección AC

En la parte de alterna se colocarán interruptores diferenciales para proteger contra derivaciones eléctricas a tierra, que suponen un peligro de electrocución para las personas. Para evitar que estas protecciones salten cuando se produzcan rizados de tensión, se utilizarán diferenciales super-inmunizados de tipo A. Estos son capaces de diferenciar entre derivaciones a tierra o rizados.

También se colocarán interruptores magnetotérmicos que protegen a la instalación de cortocircuitos y sobrecargas. Se encargan de proteger a los dispositivos, pero no protegen a las personas.

Se instalará un diferencial y un magnetotérmico a la salida de cada inversor. En el catálogo de Schneider encontramos estos productos:

Producto	N° Polos	Corriente nominal	Sensibilidad fuga a tierra	Precio	
Acti 9 iLD	4	40 A	300 mA	529,86 €	

Tabla 25: Datos interruptor diferencial. Fuente: Catálogo Schneider

Producto	N° Polos	Corriente nominal	Código de curva	Precio	
Acti 9 Ic40	3P+N	32 A	C	187,67 €	

Tabla 26: Datos interruptor magnetotérmico. Fuente: Catálogo Schneider

3.14.3.-Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica

Mediante el programa Autocad, se ha realizado el siguiente esquema unifilar:

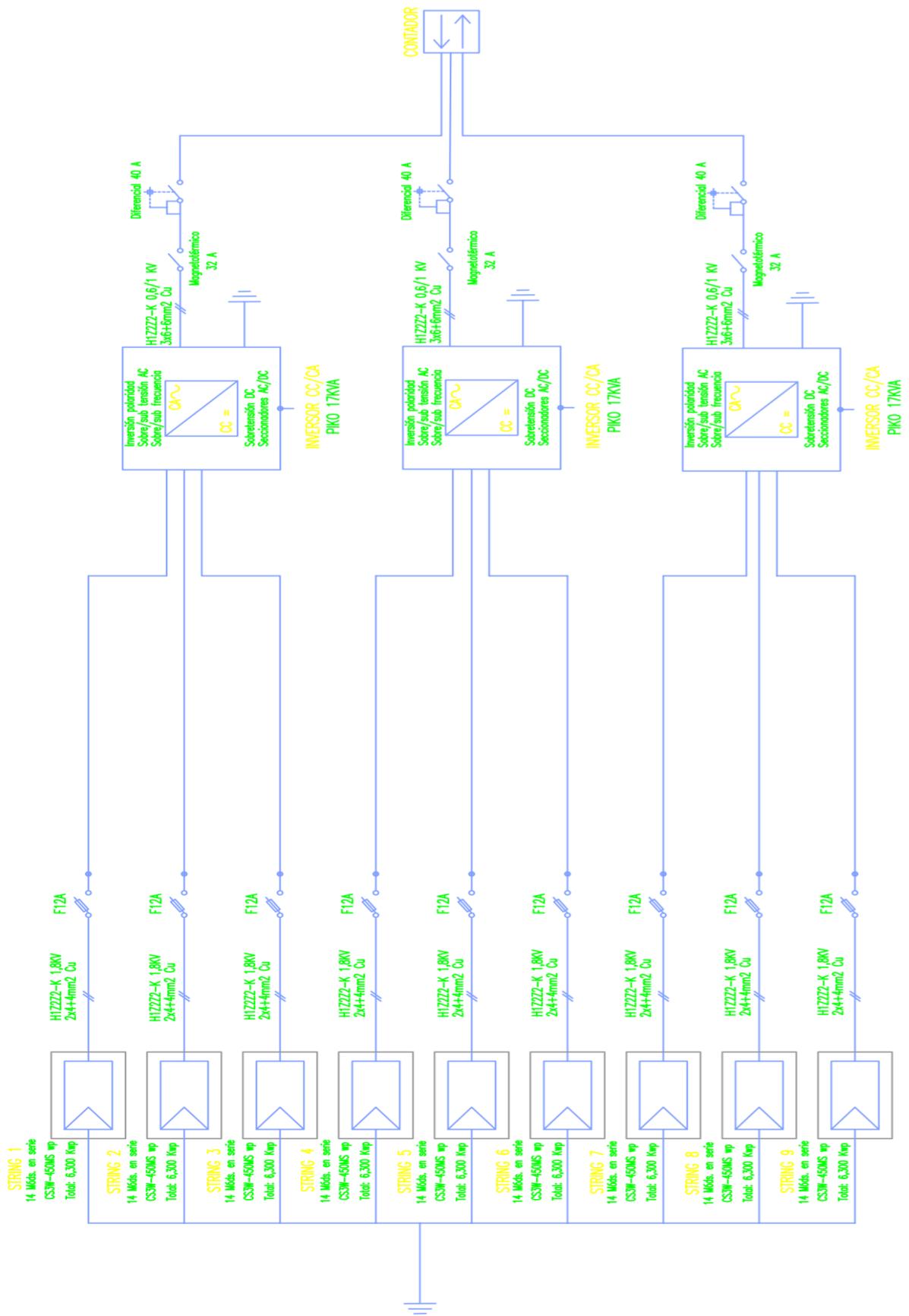


Figura 46: Esquema unifilar de la instalación dimensionada. Fuente: Elaboración propia

3.15.-Estudio del impacto medioambiental

A continuación, se analizarán los diferentes impactos al medioambiente que provoca o que evita la instalación solar fotovoltaica dimensionada en este proyecto. Se consideran los impactos de la producción de los elementos que conforman al equipamiento y los impactos de su fase de vida útil, descartando el análisis de la fase de construcción ya que no se ha tratado en el trabajo.

Como es evidente, el módulo fotovoltaico es el elemento predominante de la instalación y, por lo tanto, es importante saber el coste medioambiental que supone su fabricación.

En primer lugar, requiere un gasto energético para su fabricación y transporte. El tiempo de compensación de la energía utilizada es un factor importante a tener en cuenta. Actualmente se necesita entre un año y medio y 3 años de funcionamiento para producir la energía gastada, dependiendo de la tecnología del módulo y de la ubicación donde se encuentre. Se trata de un gran avance respecto a la primera década del siglo XXI, cuando se necesitaban 10 años para que la balanza energética fuera positiva. Sin embargo, todavía queda mucho margen de mejora en este aspecto.

En segundo lugar, el silicio es el principal material que se utiliza para la fabricación de módulos fotovoltaicos. Se trata de un material muy abundante que no es tóxico ni contaminante. Sin embargo, durante el proceso de transformación del silicio en polisilicio se crea un compuesto que sí es tóxico; el tetracloruro de silicio. Este compuesto debe ser tratado y reciclado, ya que si no se gestiona bien puede liberar ácido clorhídrico al contactar con el agua, provocando la acidificación del terreno y la emisión de gases nocivos.

En tercer lugar, también se utilizan, aunque en menor medida, otros elementos como el plomo o el cadmio los cuales hay que controlar porque pueden ocasionar algún problema de contaminación.

A día de hoy se avanza hacia un panel totalmente reciclable y que aumente sus prestaciones. Con la investigación de nuevos materiales y tecnologías se pretende facilitar su reciclaje, aumentar la eficacia de los paneles y su vida útil.

3.15.1.-Impacto ambiental en la vida útil de la instalación

La fase de funcionamiento de la instalación no comportará ningún efecto negativo al medioambiente y, además, provocará una reducción de las emisiones de efecto invernadero al reducir la utilización de electricidad proveniente de centrales convencionales. Más adelante se detallará numéricamente la cantidad de gases nocivos que se evita emitir a la atmosfera.

3.15.2.-Impacto en el clima

La energía solar fotovoltaica no requiere de ningún proceso de combustión para la generación de electricidad. Por lo tanto, se evita la polución térmica y las emisiones de efecto invernadero como el CO₂, SO₂ y NO_x causantes del cambio climático.

3.15.3.-Impacto en la geología

El silicio es el material utilizado para la fabricación de células fotovoltaicas. Este elemento es muy abundante en el planeta ya que se extrae de la arena y no se necesita grandes cantidades para hacer los paneles solares. Por lo tanto, no se produce un impacto significativo en las características litológicas, topográficas o estructurales de la zona de extracción.

3.15.4.-Impacto en el ciclo del agua: aguas superficiales y subterráneas

No se produce impacto durante la explotación de la instalación ya que el agua que se utiliza únicamente se utiliza para limpiar los módulos fotovoltaicos.

En cambio, durante el proceso de fabricación sí se puede producir una alteración de las aguas superficiales y acuíferos si no se efectúa un correcto control y reciclaje de vertidos químicos como se ha comentado anteriormente.

3.15.5.-Impacto en la flora y la fauna

La instalación solar fotovoltaica de autoconsumo está situada en el tejado de un edificio. Por lo tanto, el impacto sobre la flora es nula y tampoco tiene ninguna repercusión sobre la fauna de la zona. Además, con este equipamiento se está evitando en cierta manera la red eléctrica convencional que tiene efectos perjudiciales para las aves.

3.15.6.-Impacto en el paisaje

Los módulos fotovoltaicos se pueden integrar de muchas maneras en diferentes tipos de estructuras. Este hecho y que la instalación esté situada en el tejado del edificio en estudio contribuyen a que no se produzca ningún impacto visual en la ubicación.

3.15.7.-Contaminación acústica

La instalación está situada en una zona alejada de zonas residenciales y los sistemas fotovoltaicos se caracterizan por no emitir ruidos, por lo que no se producirá contaminación acústica.

3.15.8.-Ahorro de emisiones contaminantes a la atmósfera

La realización de esta instalación significará una reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera, ya que la energía eléctrica generada a través de las centrales convencionales supone:

Emisiones contaminantes por 1 kWh	
CO_2	0,190 kg
NO_x	0,202 g
SO_2	0,215 g

Tabla 27: Emisiones emitidas por generar 1 kWh con energía convencional. Fuente: Eurostat

A continuación, se puede observar una tabla con las emisiones contaminantes evitadas con la instalación solar fotovoltaica:

Mes	kWh generados	Cantidad contaminantes equivalente no emitida		
		Kg CO_2	g SO_2	g NO_x
Enero	4.457	846,83	900,31	958,26
Febrero	5.243	996,17	1.059,09	1.127,25
Marzo	7.484	1.421,96	1.511,77	1.609,06
Abril	8.169	1.552,11	1.650,14	1.756,34
Mayo	9.230	1.753,70	1.864,46	1.984,45
Junio	9.665	1.836,35	1.952,33	2.077,98
Julio	9.870	1.875,30	1.993,74	2.122,05
Agosto	9.118	1.732,42	1.841,84	1.960,37
Setiembre	7.182	1.364,58	1.450,76	1.544,13
Octubre	5.731	1.088,89	1.157,66	1.232,17
Noviembre	4.265	810,35	861,53	916,98
Diciembre	4.065	772,35	821,13	873,98
Anual	84.478	16.050,82	17.064,556	18.162,77

Tabla 28: Cantidad de contaminantes no emitidos. Fuente: Elaboración propia

Gracias a la energía eléctrica generada a partir de esta instalación y a partir de los coeficientes de emisiones por kWh del 2019, se dejarían de emitir 16,05 toneladas de CO₂, 17,06 kg de SO₂ y 18,16 kg de NO_x cada año.

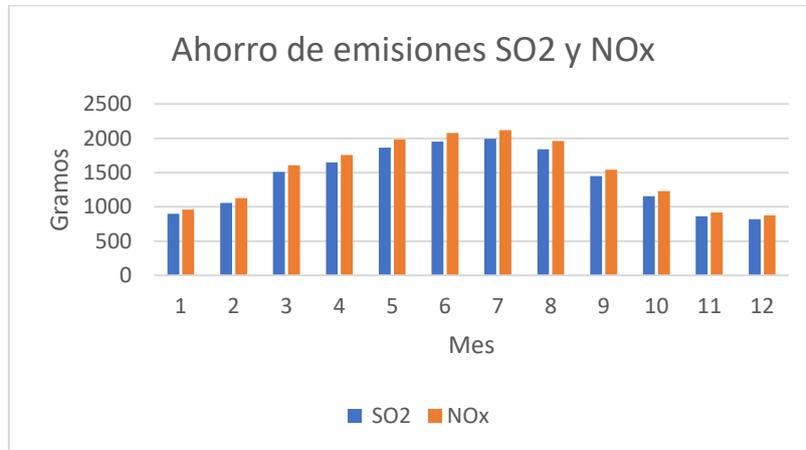


Figura 47: Diagrama Ahorro de emisiones mensuales SO₂ y NO_x . Fuente: Elaboración propia

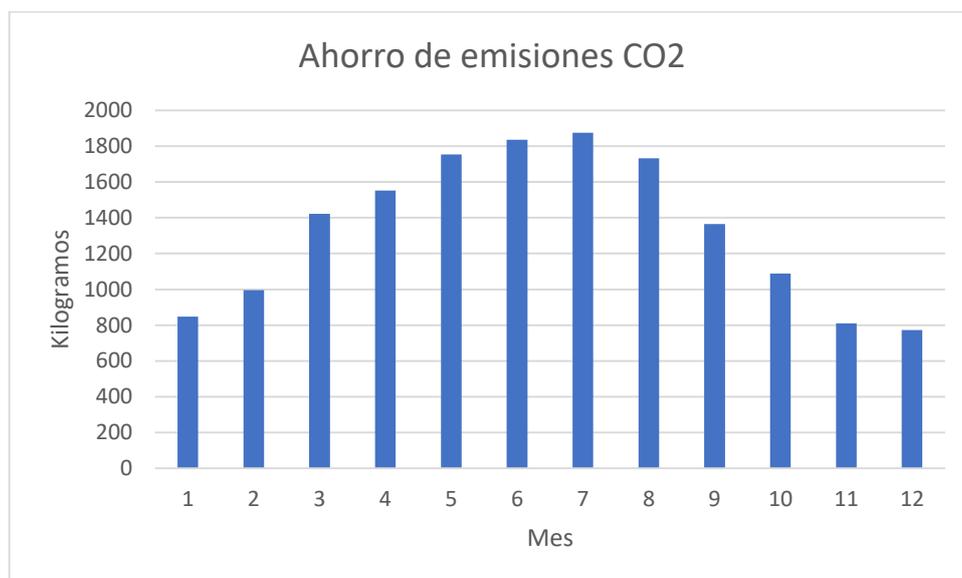


Figura 48: Diagrama Ahorro de emisiones mensuales CO₂ . Fuente: Elaboración propia

3.16.-Mantenimiento

El plan de mantenimiento tiene como objetivo garantizar un correcto funcionamiento de la instalación fotovoltaica, alargar su vida útil y maximizar su rendimiento.

Se pueden diferenciar dos tipos de mantenimientos:

- **Mantenimiento preventivo:** Consiste en comprobar periódicamente el estado de los elementos de la instalación y lo puede realizar personal no cualificado. Incluye las siguientes tareas:
 - Limpiar el polvo o la polución de los paneles solares con productos no abrasivos para no dañar-los.
 - Revisar daños o desperfectos en paneles y estructura.
 - Revisar los componentes electrónicos de la instalación con monitorización e in-situ.

- **Mantenimiento no preventivo:** Debe ser realizado por personal cualificado y se lleva a cabo cuando hay algún daño en la instalación. Se deberá desconectar el suministro eléctrico para evitar daños personales y es recomendable hacer estas acciones a primera hora de la mañana o a última hora de la tarde.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1.-Coste técnico de redacción del proyecto

Para poder realizar un presupuesto general del proyecto más realista, se hace una estimación del coste de redacción del proyecto por parte de un ingeniero.

Los honorarios de un ingeniero pueden variar de manera significativa en función de su formación y especialización, de su experiencia y de si trabaja como autónomo o en una empresa.

Se estima un sueldo bruto anual de 35.000 €, con un convenio de 1750 horas laborables por año. Esto significa una remuneración de 20 € brutos por hora. Además, se añaden 10 € al coste por hora para cubrir otros gastos de la empresa.

A continuación, se desglosan las horas necesitadas para realizar cada actividad, su coste correspondiente y el coste total.

Actividad	Duración (horas)	Coste por hora (€/hora)	Coste Total (€)
Realización Project Charter	10	30	300
Búsqueda de información	75	30	2250
Estudio de normativa	25	30	750
Estudio y selección de alternativas	50	30	1500
Simulación con Software	25	30	750
Cálculos de la instalación	15	30	450
Realización Presupuesto	15	30	450
Realización de documentos	100	30	3000
TOTAL	315		9450

Tabla 29: Desglose coste técnico de redacción del proyecto. Fuente: Elaboración propia

4.2.-Presupuesto

Todos los productos del catálogo de Albasolar tienen un descuento del 45% respecto el precio de venta al público. Para aquellos productos de otros proveedores, se estima que tienen un descuento del 35%.

A continuación, se puede observar el presupuesto desglosado del proyecto.

1.INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA							
Ref.	Descripción	Proveedor	PVP	Descuento aplicado [%]	Unidades	Precio unitario [€]	Precio total [€]
1.1.MÓDULOS							
1.1.1	Módulo Canadian Solar HiKu 5 CS3W-450MS	TiendaSolar	158,4	35	126	102,96	12.972,96
1.1.2	Oficial instalador	-	25,0	-	112*	25,0	2.800
1.1.3	Ayudante instalador	-	20,0	-	112*	20,0	2.240
1.1.4	Grua para subir material	-	85,0	-	4*	85,0	340
1.2.ESTRUCTURA							
1.2.1	Estructura en triángulo para módulos horizontales (1 módulo)	Albasolar	112,0	45	4	61,6	246,4
1.2.2	Estructura en triángulo para módulos horizontales (2 módulos)	Albasolar	178,0	45	5	97,9	489,5
1.2.3	Estructura en triángulo para módulos horizontales (3 módulos)	Albasolar	233,0	45	18	128,15	2.306,7
1.2.4	Estructura coplanar para módulos horizontales 03H (2 módulos)	Albasolar	110	45	14	60,5	847,0
1.2.5	Estructura coplanar para módulos horizontales 03H (3 módulos)	Albasolar	166	45	10	91,3	913,0
1.2.6	Oficial instalador	-	25,0	-	80*	25,0	2.000
1.2.7	Ayudante instalador	-	20,0	-	80*	20,0	1.600
1.3.INVERSORES							
1.3.1	KOSTAL PIKO trifásico 17 kW	Albasolar	3.332,0	45	3	1.832,6	5.497,8

1.3.2	Oficial instalador	-	25,0	-	10*	25,0	250
1.3.3	Ayudante instalador	-	20,0	-	10*	20,0	200
1.4.CABLEADO Y PROTECCIONES							
1.4.1	Cable solar DC 4 mm2 (Bobina 100 m)	Albasolar	98,0	45	5	53,9	269,5
1.4.2	Cable solar AC 6 mm2 (Bobina 100 m)	Albasolar	127,0	45	2	69,85	139,7
1.4.3	Fusible 12 A (10 u/pack)	AMB Greenpower	42,0	35	1	27,3	27,3
1.4.4	Portafusibles	AMB Greenpower	2,1	35	10	1,36	13,6
1.4.5	Interruptor Diferencial Acti 9 iID 4P 40A A	Schneider Electric	529,86	35	3	344,41	1.033,23
1.4.6	Interruptor Magnetotérmico Acti9 Ic40N, 3P+N, 32 A	Schneider Electric	187,67	35	3	121,99	365,97
1.4.7	Armario eléctrico Superficie PRA10262 18 posiciones	Schneider Electric	149,58	35	1	97,23	97,23
1.4.8	Oficial instalador	-	25	-	12*	25,0	300
1.4.9	Ayudante instalador	-	20	-	12*	20,0	240
1.5.PUESTA EN MARCHA							
1.5.1	Oficial instalador	-	25	-	12*	25,0	300
1.5.2	Ayudante instalador	-	20	-	12*	20,0	240
TOTAL INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA							
2.REDACCIÓN DEL PROYECTO							
2.1	Redacción del proyecto por parte de un ingeniero	-	30	-	315*	30,0	9.450
TOTAL							45.179,89

Tabla 30: Presupuesto del proyecto. Fuente: Elaboración propia

4.3.-Rendimiento económico

Para saber si se ha hecho un buen dimensionamiento de la instalación, se debe calcular el coste por Wp de potencia instalada a partir del presupuesto total.

En este caso, se obtiene el siguiente valor:

$$C = \frac{\text{Coste total de la instalación}}{\text{Potencia total instalada}} = \frac{45.179,99 \text{ €}}{56.700 \text{ Wp}} = 0,797 \text{ €/Wp}$$

El coste por Wp de la instalación es un buen resultado ya que actualmente la media se sitúa entre los 0,7 y 1,4 €/Wp.

Para calcular la reducción del consumo y el tiempo de amortización, se utilizarán los datos de producción del edificio Gaia y los proporcionados por la simulación por PVSyst. Así podremos comprobar la credibilidad de los dos resultados.

4.3.1.-Resultados con datos de producción del edificio Gaia

Para calcular la reducción del consumo que comportaría el sistema solar fotovoltaico planteado, debemos saber cuál es el consumo hora a hora de electricidad del edificio descontando la aportación de la instalación. Para ello, se utilizan los datos del año 2019 obtenidos en la aplicación de Sirena de consumo de la biblioteca TR9 del campus de la ESEIAAT y de producción del edificio GAIA TR14 con el factor de corrección explicado en el apartado 3.11.- *Discusión sobre la modalidad de instalación.*

$$\text{Reducción}(\%) = \frac{\text{kWh aportados por la instalación fotovoltaica}}{\text{Consumo total sin aportación}} \cdot 100$$

$$\text{Reducción}(\%) = \frac{47.340 \text{ kWh}}{186.383 \text{ kWh}} \cdot 100 = 25,40\%$$

Antes de calcular el tiempo de amortización, se debe saber qué compensación se obtendrá por los excedentes aportados a la red pública. Según el contrato de compensación, se percibirá una media de 0,05 € por kWh aportado.

A partir de los datos de Sirena del 2019, la instalación tiene 14.653,19 kWh anuales de excedentes.

$$\text{Compensación} = 14.653,19 \text{ kWh/año} \cdot 0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 732,66 \text{ €/año}$$

Tiempo de amortización:

$$T_a = \frac{\text{Inversión total}}{C_{TSFT} - C_{TFT}}$$

Donde:

Inversión total = Presupuesto total para realizar la instalación fotovoltaica

C_{TSFT} = Coste total energía consumida en 2019 sin aportación fotovoltaica

C_{TFT} = Coste Total energía consumida en 2019 con aportación fotovoltaica = Coste Total descontando aportación directa – Compensación anual por excedentes

Para saber cuánto tiempo debe estar la instalación produciendo energía eléctrica para amortizar la inversión, se debe saber cuál es la factura de la luz del edificio en estudio sin la aportación del sistema y con su aportación.

El precio medio anual por kWh en el año 2019 fue de 0,1104 €/kWh según ESIOS y REE. Por lo tanto, la factura de la luz será:

$$C_{TsFT} = 186383 \text{ kWh} \cdot 0,1104 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 20245,48 \text{ €}$$

$$C_{TFT} = 139043 \text{ kWh} \cdot 0,1104 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} - 732,66\text{€} = 15350,35 - 732,66 \text{ €} = 14617,69$$

Tiempo de amortización:

$$T_a = \frac{\text{Inversión total}}{C_{TsFT} - C_{TFT}} = \frac{45.179,99}{20245,48 - 14617,69} = 8,03 \text{ años}$$

4.3.2.-Resultados con datos de producción de la simulación de PVSyst

Para estos resultados no se disponen de los datos de producción por horas ya que el programa los muestra por meses. Por lo tanto, la precisión de los siguientes resultados será menor que en el primer caso. Tampoco se puede calcular la compensación por excedentes.

$$\text{Reducción}(\%) = \frac{\text{kWh aportados por la instalación fotovoltaica}}{\text{Consumo total sin aportación}} \cdot 100$$

$$\text{Reducción}(\%) = \frac{84.478 \text{ kWh}}{186.383 \text{ kWh}} \cdot 100 = 45,32\%$$

$$C_{TsFT} = 186383 \text{ kWh} \cdot 0,1104 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 20245,48 \text{ €}$$

$$C_{TFT} = (186383 - 84478) \text{ kWh} \cdot 0,1104 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 11250,31 \text{ €}$$

$$T_a = \frac{\text{Inversión total}}{C_{TsFT} - C_{TFT}} = \frac{45.179,99}{20245,48 - 11250,31} = 5,02 \text{ años}$$

Como se ha podido observar, hemos obtenido unos tiempos de amortización bastante dispares entre los dos conjuntos de datos analizados. Actualmente, el tiempo promedio para amortizar una instalación fotovoltaica se sitúa entre 5 y 6 años, aunque este valor puede oscilar dependiendo de las particularidades de cada caso.

Con los datos de producción del edificio Gaia se ha obtenido un tiempo de amortización superior a 8 años. Probablemente, la producción de los módulos situados en este edificio se ve afectada por las pérdidas por sombras de los edificios colindantes. Sin embargo, obtenemos un tiempo de amortización de 5,02 años con los datos extraídos de PVSystem.

El análisis de estos datos confirma que el dimensionamiento de la instalación es correcto y que es un proyecto viable económicamente.

Se debe tener en cuenta que en el coste de la instalación no se ha añadido la partida presupuestaria que necesitará para el mantenimiento cada año. Este mantenimiento consistirá en una o dos revisiones anuales del correcto funcionamiento del sistema. Se estima que el coste anual de mantenimiento rondará los 400 €.

4.4.-Conclusiones

El principal objetivo de este estudio era diseñar una instalación solar fotovoltaica que cubriera el máximo de consumo posible y reducir la factura eléctrica del Centro de Conservación y Restauración de la Filmoteca de Cataluña. A partir de diferentes softwares y de las mejores opciones del mercado se ha dimensionado la instalación aprovechando todo lo posible las características de la ubicación y las posibilidades que ofrece.

El resultado final ha sido un sistema capaz de reducir alrededor de un 40% el consumo de electricidad del edificio y también la factura de la luz, retornando la inversión inicial en poco más de 5 años.

En cuanto a la proyección de futuro, existen diferentes posibilidades por donde continuar. Una vez analizado la estructura del edificio y su ubicación y orientación, se pueden plantear otros estudios que podrían mejorar los resultados del presente proyecto. Este centro tiene fachadas con muy pocas aberturas estructurales, por lo que se podría estudiar una instalación fotovoltaica colocada en la fachada.

Por otra parte, el Centro de Conservación y Restauración está ubicado en el parque audiovisual de Cataluña. Podría ser interesante realizar un estudio de instalación fotovoltaica en todos los edificios de este complejo y así formar una comunidad energética de autoconsumo colectivo. Esto podría suponer una mejora substancial en los resultados del trabajo que se ha realizado.

Para finalizar, la realización de este proyecto ha sido positiva a nivel personal ya que este sector siempre me ha interesado. Ahora, tengo unas buenas nociones de cómo funciona esta energía renovable y de cómo dimensionar instalaciones de este tipo.

Sin embargo, aunque mi tutor me ha guiado correctamente para poder realizarlo, creo que un trabajo de final de carrera como éste podría suponer un aprendizaje mucho más completo para el alumno si se modificara el enfoque. Si se trabajara mano a mano con el tutor o con una persona especializada en el sector, el alumno estaría mucho más formado en la materia al acabarlo y le abriría más posibilidades en el futuro.

4.5.- Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, a mi pareja, a mis amigos y a mis compañeros el apoyo que me han dado durante el transcurso de este grado universitario. Sin su compañía y su cariño no hubiera sido posible seguir en los momentos más exigentes.

Le agradezco también a mi tutor Álvaro Luna sus indicaciones y consejos sobre este sector, que siempre me ha parecido muy interesante.

CAPÍTULO 5. REFERENCIAS

5.1.-Bibliografia

- [1]. EU Science Hub. PVGIS [Programari online]. [Consulta: 4 abril] Disponible a: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [2]. Trimble. Sketchup [Programari]. Versió: 2021.[Consulta: 15 març] Disponible a: <https://www.sketchup.com/>
- [3]. Skelion. Skelion [Programari extensió Sketchup]. Versió: 2021. [Consulta: 25 març] Disponible a: <http://skelion.com/#>
- [4]. UPC. Sirena [Aplicació web]. [Consulta: 27 maig] Disponible a: <https://sirenaupc.app.dexma.com/login.htm> (necessita autorització)
- [5]. Autodesk. Autocad [Programari] Versió 2021. [Consulta: 15 Juny] Disponible a: <https://www.autodesk.es/products/autocad/overview?term=1-YEAR> (Necessita llicència)
- [6]. Bester.energy. historia-energia-solar-fotovoltaica-espana [en línia]. [Consulta: 17 Juny]. [2021] Disponible a: <https://bester.energy/historia-energia-solar-fotovoltaica-espana/>
- [7]. Elperiodicodelaenergia. historia-de-la-fotovoltaica-en-espana-desde-sus-inicios-en-1984-a-sus-objetivos-para-2030 [en línia]. [Consulta: 17 Juny]. [2021] Disponible a: <https://elperiodicodelaenergia.com/historia-de-la-fotovoltaica-en-espana-desde-sus-inicios-en-1984-a-sus-objetivos-para-2030/>
- [8]. solar-energia.net. energia-solar-fotovoltaica [en línia]. [Consulta: 1 Març]. [2021] Disponible a: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/el-real-decreto-de-autoconsumo-al-detalle-20190409>
- [9]. el-real-decreto-de-autoconsumo-al-detalle-20190409 [en línia]. [Consulta: 10 Març]. [2021] Disponible a: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/el-real-decreto-de-autoconsumo-al-detalle-20190409>
- [10]. Idae. tecnologias/energias-renovables/autoconsumo [en línia]. [Consulta: 12 Març]. [2021]. Disponible a: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/autoconsumo>
- [11]. fjferrer.webs.ull.es.efecto_del_ngulo_de_incidencia_de_los_rayos_solares_sobre_la_irradiancia.html [en línia]. [Consulta: 20 Març]. [2021] Disponible a: https://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11_efecto_del_ngulo_de_incide ncia_de_los_rayos_solares_sobre_la_irradiancia.html
- [12]. autosolar.es. aspectos-tecnicos/que-es-un-string. [en línia]. [Consulta: 22 Març]. [2021] Disponible a: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-string>
- [13]. factorenergia.com. que-es-un-inversor-solar [en línia]. [Consulta: 25 Març]. [2021] Disponible a: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-un-inversor-solar/>
- [14]. es.weatherspark.com. Clima-promedio-en-Terrassa [en línia]. [Consulta: 3 Abril]. [2021] Disponible a: <https://es.weatherspark.com/y/47240/Clima-promedio-en-Terrassa-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [15]. icaen.gencat.cat. estudis_monografics [en línia]. [Consulta: 3 Abril]. [2021] Disponible a:

-
- http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/09_fons_documental/02_estudis_monografics/arxius/monografic12.pdf
- [16]. solarplus.es. marcas [en línea]. [Consulta: 7 Abril]. [2021] Disponible a: <https://solarplus.es/marcas>
- [17]. sfe-solar.com. los-10-paneles-solares-mas-eficientes-del-mercado [en línea]. [Consulta: 7 Abril]. [2021] Disponible a: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/los-10-paneles-solares-mas-eficientes-del-mercado/>
- [18]. www.idae.es. 20201005_guia_autoconsumo_v.3.0 [en línea]. [Consulta: 3 Maig]. [2021] Disponible a: https://www.idae.es/sites/default/files/20201005_guia_autoconsumo_v.3.0.pdf
- [19]. aoberta.terrassa.cat. tràmits [en línea]. [Consulta: 3 Maig] [2021] Disponible a: <https://aoberta.terrassa.cat/tramits/fitxa.jsp?id=4781>
- [20]. conectatealsol.com. que-impacto-ambiental-tiene-la-energia-solar-fotovoltaica [en línea]. [Consulta: 25 Maig]. [2021] Disponible a: <https://conectatealsol.com/news/que-impacto-ambiental-tiene-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- [21]. ec.europa.eu. Eurostat [en línea]. [Consulta: 25 Maig] [2021] Disponible a: <https://ec.europa.eu/eurostat>
- [22]. merkasol.com. Seguidores_Solares [en línea]. [Consulta: 10 Maig] [2021] Disponible a: https://merkasol.com/epages/62387086.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/62387086/Categories/%22Seguidores%20Solares%22/Seguidores_Solares/Seguidores_Feina