



Universidad de  
Oviedo



# **ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN**

**GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**ÁREA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA  
Y**

**ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS**

## **SIMULACIÓN DE UN PUNTO MULTICARGA APROVECHANDO MOBILIARIO URBANO**

**D. CORREDOIRAS NIETO, Héctor**

**TUTOR: D. QUINTANA BARCIA, Pablo José  
COTUTOR: D<sup>a</sup>. QUINTANA BARCIA, Covadonga**

**GIJÓN, febrero 2023**

# Resumen

Con el objeto de proyectar una mejora de una marquesina de autobús, se ha dispuesto un trabajo multidisciplinar dividido en tres ramas de ingeniería: la eléctrica, la electrónica y la estructural. Apoyándose en los datos solares obtenidos mediante el programa PVGIS, se escogen una serie de equipos comerciales que son tomados como la base de la futura instalación fotovoltaica, analizando la optimización, viabilidad, disposición y adecuado funcionamiento del montaje. Estos equipos son los módulos solares, baterías, convertidores de energía y los dispositivos receptores que forman la carga del sistema. Seguidamente, se diseña una nueva marquesina a partir de una estructura metálica que cumpla los parámetros de funcionamiento y soporte la nueva instalación solar. Utilizando un programa de cálculo estructural y diseño 3D denominado RFEM 6, y teniendo como base la teoría elemental de esta materia. Se aportan los distintos análisis y argumentos que justifican las decisiones tomadas, así como posibles mejoras futuras.

# Índice general

<b>1. Introducción .....</b>	<b>10</b>
1.1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO .....	10
1.2. OBJETIVOS.....	11
1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	12
1.4. MARCO ENERGÉTICO 2030, SOSTENIBILIDAD Y MOVILIDAD EN EL CAMPUS.....	13
1.5. ESTADO DEL ARTE .....	15
1.6. ESTADO ACTUAL DE LA MARQUESINA BAJO ESTUDIO .....	16
<b>2. Ubicación .....</b>	<b>19</b>
2.1. PRESENTACIÓN DEL LUGAR.....	19
2.2. COMPATIBILIDAD FOTOVOLTAICA DEL LUGAR.....	20
<b>3. Evaluación del diseño eléctrico y elección de equipos electrónicos.....</b>	<b>23</b>
3.1. VISIÓN GENERAL DEL SISTEMA A ESTUDIAR.....	23
3.2. OPCIONES DE DISEÑO INICIAL.....	25
3.2.1.- Orientación sur.....	25
3.2.2.- Orientación oeste.....	26
3.3. ELECCIÓN PLACAS SOLARES .....	27
3.3.1.- Fundamento teórico.....	27
3.3.2.- Parámetros eléctricos.....	29
3.3.3.- Elección.....	30
3.3.4.- Número de placas.....	33
3.4. ESTIMACION DE LA PRODUCCION SOLAR. SOFTWARE PVGIS .....	35
3.4.1.- Ángulo azimut.....	36
3.4.2.- Ángulo de inclinación .....	37
3.4.3.- Estudios .....	38
3.5. CONSUMO DE POTENCIA ESTIMADO POR LAS CARGAS .....	40
3.5.1.- Dispositivos de la carga del circuito .....	40
3.5.2.- Potencia y consumo de la instalación .....	41
3.6. INVERSOR SOLAR.....	45
3.6.1.- Introducción .....	45

3.6.1.- Elección.....	47
3.7. BATERIAS .....	52
3.7.1.- Introducción .....	52
3.7.2.- Elección.....	53
3.8. OTROS ELEMENTOS .....	55
3.9. POSIBLES USOS DE LOS EXCEDENTES ENERGETICOS.....	56
<b>4. Simulación de estructura metálica de la marquesina.....</b>	<b>59</b>
4.1. ESTRUCTURA SOPORTE DE PLACAS SOLARES .....	59
4.2. CUBIERTA .....	62
4.3. ESTRUCTURA METÁLICA. MARQUESINA .....	63
4.3.1.- Material y sección .....	64
4.3.2.- Estructura de barras .....	65
4.3.3.- Casos de carga analizados .....	67
4.3.4.- Situaciones de carga, combinaciones y cálculo.....	68
4.3.5.- Resultados del análisis estático y de acero .....	70
<b>5. Presupuesto estimado .....</b>	<b>74</b>
<b>6. Conclusiones y posible trabajo futuro .....</b>	<b>75</b>
6.1. CONCLUSIONES.....	75
6.2. TRABAJOS FUTUROS.....	76
<b>7. Anexos.....</b>	<b>77</b>
7.1. ANEXO I. ESTUDIOS REALIZADOS CON SOFTWARE PVGIS .....	77
7.2. ANEXO II. CARGAS ELÉCTRICAS DEL SISTEMA. ....	78
7.3. ANEXO III. CÁLCULOS ACERCA DE CONSUMOS Y HORARIOS .....	82
7.4. ANEXO IV. DOCUMENTACION ADICIONAL APORTADA POR RFEM 6.....	85
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>86</b>

# Índice de figuras

Figura 1.1. Marquesina parada de bus escolar ejemplo [13] .....	15
Figura 1.2. Marquesinas y refugios comerciales[14].....	16
Figura 1.3. Estado actual de la marquesina bajo el estudio. Vista Frontal .....	17
Figura 1.4. Estado actual de la marquesina bajo el estudio. Vista Lateral .....	17
Figura 1.5. Representación CAD de la marquesina actual .....	18
Figura 1.6. Vistas marquesina actual: a) Perfil izquierdo b) Planta c) Alzado.....	18
Figura 2.1. Referencia catastral de la ubicación de la marquesina .....	19
Figura 2.2. Irradiancia Global media en Europa (1983-2005) [kWh/m <sup>2</sup> ][15] .....	21
Figura 2.3. Potencial solar eléctrico de los países europeos [4][18].....	21
Figura 2.4. Radiación Global y potencial eléctrico solar en España[1], [4], [18] ...	22
Figura 3.1. Esquema inicial del conjunto de la instalación .....	24
Figura 3.2. Simulación marquesita con módulos solares en orientación sur.....	26
Figura 3.3. Simulación marquesita con módulos solares en orientación oeste .....	26
Figura 3.4. Circuito equivalente elemental de una célula fotovoltaica [2].....	28
Figura 3.5. Curva de funcionamiento de un módulo solar [2][21] .....	29
Figura 3.6. Gráficas de funcionamiento módulos solares. a) Con diferentes temperaturas e iluminación constante b) Con diferentes radiaciones y temperatura constante [6].....	30
Figura 3.7. Modelo de placa solar escogido JAM72S20 445-470/MR[6][22] .....	30
Figura 3.8. Características eléctricas STC y NOCT JAM72S20 445-470/MR [6] .	32
Figura 3.9. Dimensiones placa solar seleccionada JAM72S20 445-470/MR [6]....	33
Figura 3.10. Comparación dimensiones del módulo solar y la futura cubierta. ....	33
Figura 3.11. Comparación entre longitud de placas solar y futura cubierta, útil para cálculo de numero de placas .....	34
Figura 3.12. Mapa de España en PVGIS [4] .....	35
Figura 3.13. Interfaz en PVGIS para calculo sistema conectado a Red [4].....	35
Figura 3.14. Ángulo azimut[24] .....	36
Figura 3.15. Ángulo de inclinación[24].....	37

Figura 3.16. Energía mensual [KWh] producida por la instalación, según los datos del estudio 2 en PVGIS [4] ..... 44

Figura 3.17. Consumo mensual [KWh] de la carga de la instalación propuesta ..... 44

Figura 3.18. Inversor SUN2000-5KTL-L1 5000W [30] ..... 47

Figura 3.19. Temperatura del bulbo seco en la ubicación, 2005-2020 [4] ..... 50

Figura 3.20. Circuito eléctrico para implementar en la instalación [22] [31]..... 51

Figura 3.21. Batería Huawei Luna 2000 con módulo de 5kWh y BMS [32] ..... 53

Figura 3.22. Especificaciones eléctricas distintos módulos batería Huawei Luna2000 [32]..... 54

Figura 3.23. Comparación mensual consumo y producción..... 56

Figura 4.1. Diferentes vistas de sistema inclinado propuesta inicial[35], [36]..... 60

Figura 4.2. Estructura 6 Paneles 30-45mm Coplanar Falcat [38]..... 60

Figura 4.3. Proceso de montaje de la estructura soporte [37]..... 61

Figura 4.4. Cubierta de la marquesina a partir de panel Sándwich [40]..... 62

Figura 4.5. cronología construcción estructura en RFEM. a) nudos, b) líneas, c) barras [44]..... 66

Figura 4.6. Caso de carga placas solares, CC3 en RFEM [44]..... 67

Figura 4.7Caso de carga de nieves, CC6 en RFEM [44]..... 68

Figura 4.8. Caso de carga viento muro 1, CC7 en RFEM [44] ..... 68

Figura 4.9. Situación de proyecto uno según los dispuesto en CTE DB-SE [46] .. 69

Figura 4.10. Situación de proyecto dos según los dispuesto en CTE DB-SE [46].. 69

Figura 4.11. Situación de proyecto tres según los dispuesto en CTE DB-SE [46].. 69

Figura 4.12.Situación de proyecto cuatro según los dispuesto en CTE DB-SE[46] 70

Figura 4.13. Análisis estático CC3, tensión equivalente de Von Misses [44]..... 71

Figura 4.14. Comprobación de todas las barras de la estructura, RFEM 6 [44]..... 72

Figura 4.15. Representación de la estructura final comprobada de la futura marquesina[44] ..... 73

Figura 7.1. Panel LED [51]..... 79

Figura 7.2. Foco empotrable [52] ..... 79

Figura 7.3. Panel Mupi [54]..... 79

Figura 7.4. Armario cargador patinetes eléctricos presente en la escuela. .... 80

# Índice de tablas

Tabla 2.1. Datos geográficos de la ubicación .....	20
Tabla 3.1. Resumen temperaturas medias mensuales en ubicación propuesta.....	32
Tabla 3.2. Parámetros iniciales, cálculo en PVGIS .....	38
Tabla 3.3. Resumen de los estudios realizados en PVGIS: .....	39
Tabla 3.4. Lista de dispositivos que forman parte de la carga de la instalación.....	41
Tabla 3.5. Potencias de los elementos de la carga del sistema .....	41
Tabla 3.6. Periodos de funcionamiento de la marquesina .....	42
Tabla 3.7. Especificaciones técnicas inversor [27].....	48
Tabla 3.8. Diagrama del circuito, inversor SUN2000-5KTL-L1 [30].....	49
Tabla 4.1. Normativa activada en software RFEM .....	64
Tabla 4.2. Sección Celsius 355 SHS 100x100x10[44].....	65
Tabla 4.3. Casos de carga [44].....	67
Tabla 4.4. Situaciones de proyecto en RFEM [44].....	68
Tabla 4.5. Resumen parámetros RFEM 6 [44] .....	70
Tabla 7.1. Tiempos de uso de los distintos elementos de la carga. ....	82
Tabla 7.2. Cálculos de consumo en el periodo de invierno. ....	82
Tabla 7.3. Cálculos de consumo en el periodo estándar.....	83
Tabla 7.4. Cálculos de consumo en el periodo de verano.....	83
Tabla 7.5. Propiedades de acero S235 JR[44] .....	85

# Sumario de acrónimos y definiciones técnicas

AC	Corriente alterna (Altern Current).
CAD	Computer-Aided Design.
CM SAF	Climate Monitoring Satellite Application Facility [1].
CTE	Código Técnico de la Edificación.
DC	Corriente continua (Direct Current).
GEI	Gases de efecto invernadero.
GTI	Inversor de enlace a red (Grid Tie Inverter).
GFI	Inversor aislado (Grid Forming Inverter).
LED	Light Emitting Diode.
MEF	Método de los Elementos Finitos.
MPPT	Maximum Power Point Tracking.
PAY-BACK	Plazo de Recuperación.
PNIEC	Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.
SEP	Sistemas electrónicos de potencia.
SNM	Sobre el nivel del mar.
STC	Standard Test Conditions. Condiciones bajo las cuales se deben ensayar los módulos solares para establecer sus parámetros básicos [2].
TIR	Tasa Interna de Retorno.
UE	Unión Europea.
VAN	Valor Actual Neto.
$I_{sc}$	Intensidad de cortocircuito (Short Circuit Current) [A]. Es aquella corriente que se produce a tensión de 0 V, pudiendo ser medida con un amperímetro conectado a la salida de la célula solar. Su valor varía en función de la superficie y de la radiación luminosa a la que la célula está expuesta [3].
$I_{MP}$	Intensidad de corriente máxima (Maximum Power Current) [A]. Es la corriente máxima a la que trabaja el módulo solar.

Irradiación	La irradiación solar es la magnitud que mide la energía de la radiación por unidad de superficie. Se mide en Wh/m <sup>2</sup> [3].
Irradiancia	Se conoce como irradiancia a la potencia de la radiación solar por unidad de área y que se mide en W/m <sup>2</sup> [3].
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature, del inglés. Se refiere a la temperatura que alcanza la célula fotovoltaica cuando el módulo se expone a una irradiancia de 800 W/m <sup>2</sup> , una masa de aire de 1,5G, una temperatura ambiente de 20 °C y una velocidad de viento de 1 m/s. Establece unas condiciones reales para la obtención de los parámetros eléctricos del módulo solar[2].
P <sub>MAX</sub>	Potencia máxima (Rated Maximum Power) [W]. Es la potencia máxima que puede suministrar la célula solar. Queda determinada por el punto de la curva de funcionamiento donde el producto de la corriente por la tensión es máximo [3]. $P_{m\acute{a}x} = I_{mp} \times V_m \quad (1)$
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System. Software gratuito desarrollado por la Unión Europea para la obtención de datos solares en gran cantidad de zonas del planeta [4].
Radiación solar	La radiación solar recibida por la superficie terrestres se denomina radiación global y se divide en tres componentes: directa, difusa y reflejada. El parámetro de radiación solar global en días despejados proporciona el máximo de radiación disponible en una localización. El programa PVGIS obtiene los datos de un día totalmente despejado y de un día nublado y así se consigue tener una estimación La radiación solar es un concepto general que no se cuantifica en magnitudes, sino que las magnitudes que describen la radiación solar que incide en la superficie terrestre son la irradiancia y la irradiación [3][1]
STC	Standard Test Conditions. Condiciones bajo las cuales se deben ensayar los módulos solares para establecer sus parámetros básicos [2].
V <sub>MP</sub>	Tensión máxima (Maximum Power Current) [V]. Es la tensión máxima a la que trabaja el módulo solar.

$V_{OC}$	Tensión de circuito abierto (Open Circuit Voltaje, del inglés) [V]. Es la tensión medida cuando no hay ninguna carga conectada. Representa la tensión máxima que la célula es capaz de dar [3].
$\alpha_{I_{SC}}$	Coefficiente de temperatura de la intensidad de cortocircuito (Temperature Coefficient of $I_{SC}$ ) [%/°C]. Es el porcentaje de aumento o disminución de la $I_{SC}$ respecto a la variación de temperatura [5]
$\beta_{V_{OC}}$	Coefficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto (Temperature Coefficient of $V_{OC}$ ) [%/°C]. Es el porcentaje de aumento o disminución de la $V_{OC}$ respecto a la variación de temperatura [5].
$\gamma_{P_{MP}}$	Coefficiente de temperatura de la potencia pico (Temperature Coefficient of $P_{Max}$ ) [%/°C]. Es el porcentaje de aumento o disminución de la $P_{MAX}$ respecto a la variación de temperatura.[5]
$\eta$	Eficiencia de conversión o rendimiento (Module Efficiency) [%]. Muestra la calidad de conversión de la placa relacionando la potencia pico de esta y la potencia de radiación incidente sobre la superficie de esta[3].

$$\eta = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{total}} \quad (2)$$

# 1. Introducción

## 1.1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Dentro de un contexto internacional de constante cambio en el que la actualidad está marcada por la crisis energética y medioambiental mundial, se pretende presentar un proyecto que aporte una de tantas soluciones que se pueden implementar para fomentar el uso de energías renovables y la reducción de la dependencia a los combustibles fósiles. A pesar de que estas fuentes energéticas se encuentran en auge, debido a su enorme potencial, producción de energía limpia y reducción de costes, aún están por explotar.

Esta idea busca dar una nueva dimensión a un elemento habitual del entorno urbano, como una marquesina de autobús, cuya misión inicial no es más que tapar a los viajeros en caso de lluvia mientras esperan a su transporte, dotándole de un punto multi-carga de dispositivos y de unos nuevos servicios adaptados a los modernos hábitos de los usuarios, usando principalmente energía solar.

Se plantea proporcionar un valor añadido a una marquesina común mediante la inclusión de un sistema fotovoltaico que optimizará y mejorará la experiencia del usuario dando unos nuevos servicios mientras dure la espera y al mismo tiempo crear una nueva fuente de generación de energía eléctrica que será destinada a esos nuevos servicios, a su venta o ser trasladada a otras aplicaciones.

Se proyecta un diseño transversal y multidisciplinar dividido en dos partes diferenciadas significativamente: la instalación fotovoltaica y la estructura de la marquesina.

La metodología empleada busca la optimización del diseño tanto en aspectos dimensionales, técnicos como económicos, consultando el mercado y apoyándose en el uso de equipos comerciales, del empleo de software técnicos adecuados, de la aplicación de la teoría básica en cuestión y de la realización de los cálculos precisos, intentando en todo momento explicar y argumentar las decisiones tomadas en el desarrollo del proyecto, para alcanzar una comprensión clara y concisa por parte del lector de esta memoria.

El alcance que se quiere dar a este proyecto pasa por investigar y simular esta idea teniendo en cuenta y dejando claro que este documento no es una memoria constructiva.

Concluyendo esta introducción, se quiere destacar este trabajo como la búsqueda de una mejora y actualización sencilla y sostenible de un elemento del entorno universitario aprovechando la energía solar, mejorando la experiencia del usuario.

## 1.2. OBJETIVOS

- Diseñar un proyecto de mobiliario urbano multidisciplinar aplicando los conocimientos adquiridos durante el grado. Se pretende unir varias ramas de la ingeniería como energías renovables, eléctrica, electrónica y el cálculo estructural para desarrollar una infraestructura que mejore el campus universitario dentro un contexto de ahorro energético, sostenibilidad y preocupación por el planeta.
- Promover el uso de las energías renovables en el entorno universitario.
- Diseñar una modernización de la instalación que se adapte a los tiempos actuales, mejorando la accesibilidad de todos los usuarios y concibiéndola como un lugar en el que el usuario pueda optimizar su tiempo mientras que espera al transporte.
- Estudiar una instalación fotovoltaica conectada a red y con acumuladores, además de, analizar su orientación óptima, ubicación y disposición, entre otros.
- Presentar y analizar la tecnología fotovoltaica para una correcta elección.
- Estudiar la radiación absorbida por la futura instalación mediante un software especializado.
- Elegir los equipos necesarios para el correcto funcionamiento de los sistemas de generación, almacenamiento y consumo.
- Presentar los posibles usos de la energía generada por la nueva instalación.
- Simular una estructura metálica mediante un software 3D que soporte la carga de los módulos solares y las correspondientes cargas reguladas por el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Proponer nuevas ideas y mejoras de dicho proyecto.
- Aportar un presupuesto estimado de la instalación.

### 1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Este Trabajo de Fin de Grado se estructura en varios capítulos descritos a continuación.

En este primer capítulo introductorio, se presenta la idea inicial del proyecto, se muestra el estado inicial de la marquesina y se descubren los objetivos a alcanzar, además de una contextualización en el marco en el que se encuentra el proyecto.

En el capítulo segundo, Ubicación, se expone el lugar seleccionado para el proyecto, analizando y argumentando él por qué de las buenas condiciones del emplazamiento para el montaje de una instalación fotovoltaica.

En el capítulo tercero, Evaluación del diseño eléctrico y elección de equipos electrónicos, se analiza lo relacionado con el diseño de la instalación fotovoltaica, yendo desde una correcta orientación, inclinación y elección de las placas solares, elección del inversor, elección de la batería a la estimación tanto de la producción energética de la instalación como la potencia y consumos de esta. Exponiendo los posibles usos de la energía producida y observando los datos en los que se apoyan las decisiones tomadas.

En el capítulo cuarto, Simulación de estructura metálica de la marquesina, se diseña la nueva marquesina proponiendo una solución para el soporte de las placas solares, la cubierta y la estructura metálica de la marquesina. Por medio de un programa especializado, se diseña una estructura metálica de barras de acero que soporte las nuevas cargas propuestas en el diseño y que cumpla lo especificado por el CTE.

En el capítulo quinto, Presupuesto estimado, se realiza un presupuesto de los costes totales del trabajo realizado.

En el capítulo sexto, Conclusiones y posible trabajo futuro, se establecen las conclusiones a las que se ha llegado con el proyecto y se plantean propuestas de interés para posibles trabajos futuros.

En el capítulo séptimo y último capítulo, se incluyen una serie de anexos complementarios a la memoria.

## 1.4. MARCO ENERGÉTICO 2030, SOSTENIBILIDAD Y MOVILIDAD EN EL CAMPUS

Se procede a exponer la situación actual respecto al ahorro energético y por qué es importante realizar investigaciones y proyectos respecto a este asunto, aprovechando los recursos propios e impulsando el uso de las energías renovables. Del mismo modo, se introduce las políticas de obligado cumplimiento, propuestas por diversas instituciones en el sector energético, movilidad y transporte urbano.

El ahorro energético está a la orden del día, debido a los elevados precios de la electricidad y al grave problema de dependencia a los combustibles fósiles algo que hace que cada vez más instituciones, empresas y usuarios decidan plantearse la producción de su propia energía limpia a través de las energías renovables. En este caso, se trata la energía solar, ya que España es un país muy soleado, con una de las mayores tasas de radiación de Europa, haciendo que la instalación de soluciones fotovoltaicas sea una opción muy atractiva [6].

La Unión Europea dentro de su labor legislativa ha creado una serie de políticas que buscan unas metas en materia del clima y energía, englobadas en los objetivos 2030 [7] [8].

Estas propuestas y medidas tienen como finalidad acelerar la transición energética hacia una energía limpia en línea con el cumplimiento de los objetivos establecidos en el Acuerdo de París 2015 contra el cambio climático, manteniendo a la vez un sistema energético seguro y competitivo que permita la entrega de energía al consumidor a precios asequibles, favoreciendo el crecimiento y la creación de empleo [7].

Estos objetivos 2030 son:

- 40% reducción de emisiones de GEI frente a niveles de 1990.
- 32% de energías renovables en la UE.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética.

Para cumplir con este mandato, el Gobierno de España publicó en febrero del 2019 su borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC 2021-2030) para la necesaria transición energética para conseguir una economía prácticamente descarbonizada en 2050 [7].

Estas políticas están en constante cambio y actualización siendo La Ley Europea del Clima, aprobada en junio de 2021, la última de ellas. Establece y define el objetivo de neutralidad climática en la UE a 2050 y proporciona un marco para avanzar en los esfuerzos

de adaptación a los impactos del cambio climático, por el cual, todos los Estados miembros deben poner en marcha estrategias y planes de adaptación [8], [9].

Por otro lado, el gobierno del Principado de Asturias también establece en sus políticas la importancia de esta temática. En Ley 12/2018, de 23 de noviembre, de Transportes y Movilidad Sostenible, persigue promover una movilidad universalmente accesible, segura, asequible y que utilice, preferentemente, modos de transporte sostenibles. Esta ley también establece una serie de objetivos, entre los que destacan [10].

- Reducir el número de vehículos privados en carretera, disminuyendo los atascos y los efectos derivados de la congestión, tales como la ineficiencia energética, el ruido, la contaminación atmosférica y los accidentes.
- Disminuir el consumo de energías no renovables, promoviendo el recurso a las energías más limpias.
- Mejorar los transportes públicos de viajeros.
- Favorecer las condiciones de accesibilidad de las personas con movilidad reducida a los modos de transporte, sus infraestructuras y equipamientos adicionales.
- Mejorar las condiciones del medio ambiente urbano y la calidad de vida de los ciudadanos.
- Asegurar la aplicación de los principios de Diseño Universal en los itinerarios, infraestructuras y medios de transporte [10][11].

Finalmente, otra institución relevante, la Universidad de Oviedo, también tiene una serie de políticas relativas al clima, ahorro energético, adecuación de infraestructuras, sostenibilidad ambiental, eficiencia, y servicio dentro del plan estratégico propuesto por el consejo de gobierno en el año 2022 [12].

De forma más concreta, se plantea la instalación de cargadores eléctricos para vehículos, patinetes y bicicletas eléctricas en todos los Campus, la puesta en marcha de planes de movilidad sostenible intercampus y el acondicionamiento de viales y zonas de paso en todos los campus [12].

Por estos motivos expuestos, esta idea, se puede incluir en los proyectos que pueden suponer una transformación del campus universitario, inmerso, en un proceso de actualización de cara a la optimización de sus infraestructuras, teniendo como meta la humanización del campus; logrando que sea más accesible, inteligente y sostenible, facilitando la actividad a alumnos, docentes, investigadores y demás personal universitario,

así como favorecer la transición energética hacia las energías renovables dentro del marco Agenda 2030 establecido por las distintas instituciones gobernantes[12].

## 1.5. ESTADO DEL ARTE

La marquesina de autobús es un elemento muy común en los entornos urbanos y es un componente cuya función principal es dar cobijo a los usuarios mientras esperan a la llegada de su transporte urbano. Es un elemento del mobiliario urbano por lo que además de realizar su cometido deberá tener un precio económico, abaratando costes públicos, con un diseño sencillo que se amolde a la estética urbana y ser a prueba de vandalismo. Además, de esto tiene que cumplir en todo momento la normativa de seguridad, movilidad y accesibilidad pertinente para garantizar que el usuario está seguro en todo momento.

Por lo general, las marquesinas que se ven mayoritariamente tienen una apariencia similar, tal como se aprecia en la Figura 1.1. Este tipo de marquesina es prefabricada y tiene un montaje sencillo que se realiza en fábrica siendo trasladada, para ser colocada y cimentada en la vía pública. Consta de una estructura conformada por perfiles rectangulares huecos metálicos, techo de chapa lacada tipo sándwich y laterales cerrados por cristales templados de 8 mm serigrafiados. Además, tiene un banco sencillo y espacio para permanecer de pie[13]. Hay que señalar que la Figura 1.1 es un ejemplo ya que la marquesina actual del lugar tiene unas dimensiones y diseño distinto, los cuales, serán introducidos en el siguiente apartado.

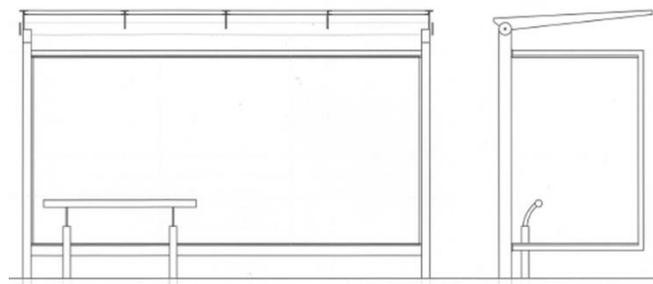


Figura 1.1. Marquesina parada de bus escolar ejemplo [13]

Uno de los primeros pasos realizados, es analizar el mercado y buscar un producto que pueda amoldarse a lo que se quiere, cumpliendo tanto los objetivos pedidos como los de viabilidad. Se consultan dos grandes empresas del sector de mobiliario urbano, JCDecaux y Mmcité, empresas cuyos diseños y soluciones, se encuentran presentes en muchas de las ciudades de nuestro país.

En la figura se pueden ver los diseños más notables que presentan las empresas del sector.

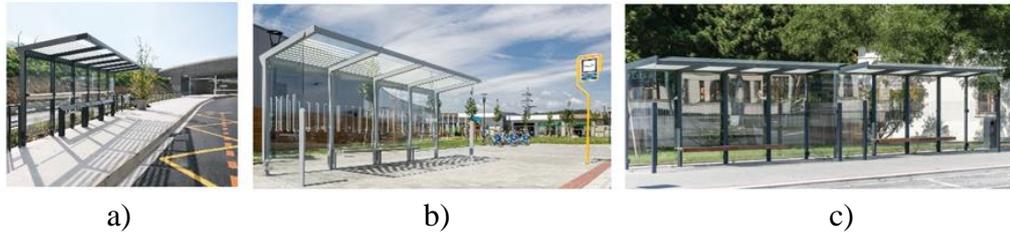


Figura 1.2. Marquesinas y refugios comerciales[14]

En esta búsqueda, se hace hincapié en marquesinas, de gran longitud ya que las marquesinas universitarias tienen gran afluencia, con un número específico de módulos solares (entre 10 y 20), y con la presencia de servicios añadidos para los usuarios. Se ven muy pocos modelos que usen la energía solar y aunque algunos si la usen, su uso es mínimo. Otros modelos presentan alguna placa solar y dan algún servicio de carga de dispositivos electrónicos, como smartphones, pero no satisfacen la búsqueda inicial. Otro aspecto es el dimensional ya que la mayoría de estas marquesinas prefabricadas son más pequeñas de lo que se necesita en la universidad.

Por lo tanto, se llega a la conclusión desde el punto de vista técnico, de que en el mercado no existe este tipo de producto específico, así que, la decisión que se toma es diseñar una nueva marquesina, usando como base la marquesina actual, incorporando la instalación solar, los nuevos servicios y las mejoras pertinentes.

## 1.6. ESTADO ACTUAL DE LA MARQUESINA BAJO ESTUDIO

La instalación existente en la actualidad es una marquesina sencilla cuya misión es proteger de lluvia y frío a los estudiantes y demás usuarios mientras esperan a la llegada del transporte público. Esta infraestructura ha cumplido su servicio durante muchos años, pero necesita una actualización acorde a la nueva era digital y a los nuevos patrones de comportamiento de los usuarios. Actualmente sigue cumpliendo su misión a pesar de no encontrarse en el mejor estado posible debido a alguna imperfección provocada por la corrosión que pese a nos suponer ningún defecto estructural grave ni alterar las condiciones de servicio merece ser tenido en cuenta para su reparación.

Esta marquesina está constituida por una estructura de acero sencilla formada a partir de perfiles huecos, un tejado curvo de material plástico como cubierta y de unas mamparas

de vidrio en sus laterales que harán de protector frente al viento y la lluvia. Se puede observar el estado actual en las imágenes, Figura 1.3 y Figura 1.4.



Figura 1.3. Estado actual de la marquesina bajo el estudio. Vista Frontal



Figura 1.4. Estado actual de la marquesina bajo el estudio. Vista Lateral

Los planos de la estructura actual no son necesarios para la futura instalación, puesto que se pretende retirar la actual y sustituirla por el nuevo diseño, pero si se deben tener en cuenta sus dimensiones actuales que servirán de guía para la toma de las decisiones acerca de las dimensiones de la nueva marquesina que será construida desde cero, con el objetivo de alterar lo menos posible el entorno de esta, dotando a la marquesina de todos los servicios y equipos que se detallan en este documento. En las siguientes figuras, se presentan unas simulaciones de la marquesina bajo estudio realizadas con un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) donde se pueden visualizar las dimensiones de la estructura actual.

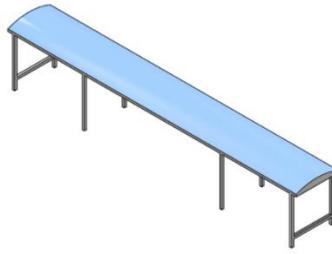


Figura 1.5. Representación CAD de la marquesina actual

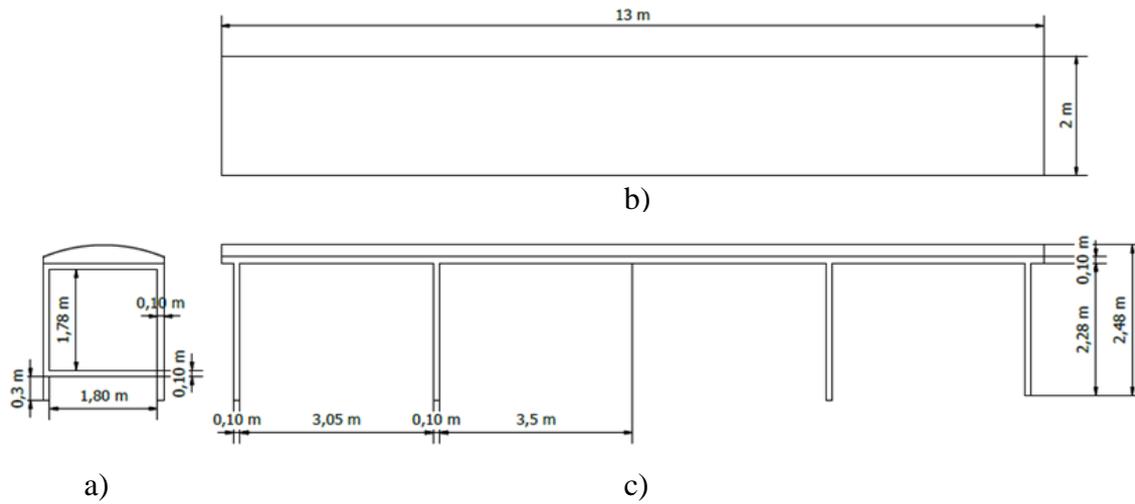


Figura 1.6. Vistas marquesina actual: a) Perfil izquierdo b) Planta c) Alzado

## 2. Ubicación

### 2.1. PRESENTACIÓN DEL LUGAR

El emplazamiento de la futura instalación se encuentra en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (Asturias), ciudad del norte de España. La mayoría de los grados de ingeniería de la Universidad de Oviedo son impartidos en esta facultad, por lo que hay una gran afluencia de personas de fuera de la ciudad cuyo principal medio de transporte es el autobús universitario y también hay muchas personas residentes en Gijón que usan el transporte público para ir al campus, así que, existe un gran número de usuarios de este medio de transporte. Se debe no solo dar un servicio de autobuses notable sino también dotar de unas instalaciones proporcionales a esta demanda.

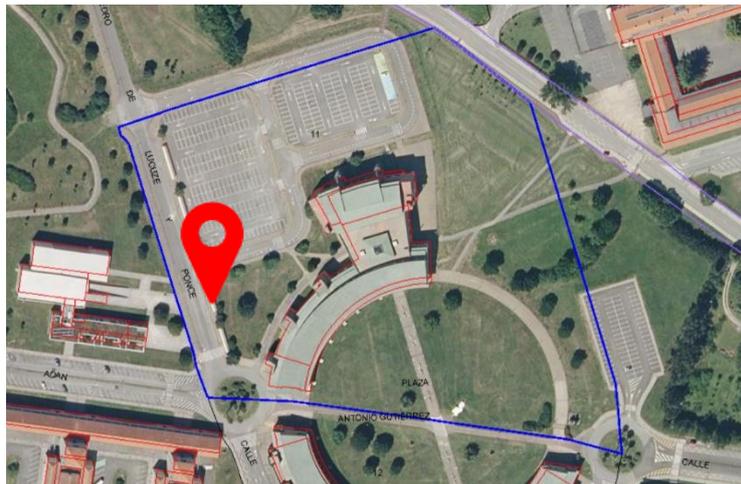


Figura 2.1. Referencia catastral de la ubicación de la marquesina

Hay varias paradas de autobús en el campus, pero la marquesina en cuestión se encontrará al lado del Aulario Norte debido a su orientación, su cantidad de usuarios y a su situación en un espacio amplio y abierto.

Se tiene en cuenta una de las marquesinas actuales para obtener sus datos geográficos que serán valiosos para el posterior dimensionamiento de la futura instalación.

Es importante obtener sus coordenadas geográficas exactas ya que serán usadas posteriormente para el cálculo solar. Esta marquesina se encuentra cerca del nivel de la mar orientada en una posición oeste, en una zona amplia y abierta, no está rodeada de montañas ni ningún elemento geográfico reseñable, aunque en las proximidades hay edificios y algún

árbol cuyas sombras serán despreciadas para el cálculo ya que se consideran poco significantes en este caso específico.

LOCALIZACION		
LATITUD	43°31'27,6"N	NORTE
LONGITUD	5°37'35,4"W	OESTE
ALTITUD	21 metros	SNM

Tabla 2.1. Datos geográficos de la ubicación

## 2.2. COMPATIBILIDAD FOTOVOLTAICA DEL LUGAR

En general, la península ibérica tiene unas condiciones muy favorables para el uso de la tecnología fotovoltaica siendo uno de los mejores países europeos para la generación de este tipo de energía renovable debido a la gran irradiancia de la que dispone su superficie. [6], [15]. Países como Alemania tienen una situación geográfica bastante peor, en términos de obtención de radiación solar y a pesar de este factor son uno de los grandes productores de energía solar [6].

Se exponen una serie de figuras que mostraran de una forma sencilla y visual esta idoneidad del lugar para la tecnología fotovoltaica. En la Figura 2.2. se distingue un mapa del continente europeo en el que se puede comparar la distinta irradiancia que llega a los países europeos en un periodo de 20 años. Los países del sur, rodeados por el Mar Mediterráneo, es especial, España, destacan por tener unos valores de irradiancia muy superiores al resto de países europeos. En la Figura 2.3. se presentan tanto los datos de irradiancia en Europa del periodo 2007-2016, como los datos de la posible energía eléctrica generada por una instalación solar de unas determinadas condiciones, ambos proporcionados por CM SAF[1].

Estos resultados hacen muy ventajosa la instalación fotovoltaica en España, motivo por el cual es un sector en constante expansión en España y será una buena decisión el montaje de la futura instalación en la marquesina [16].

Finalmente, en la Figura 2.4, se presentan unos datos similares al caso anterior, pero particularizando al territorio español, teniendo en cuenta un ángulo óptimo de orientación de las placas fotovoltaicas. La zona donde se encuentra la región de Asturias está por debajo de los valores medios de radiación en la nación, no siendo la mejor zona del país en cuanto a obtención de radiación solar, pero, aun así, realizar este tipo de instalación tiene múltiples

ventajas. Claramente se aprecia que, aunque la radiación es menor que en el resto del país sigue habiendo unos valores muy elevados de radiación solar en la región.

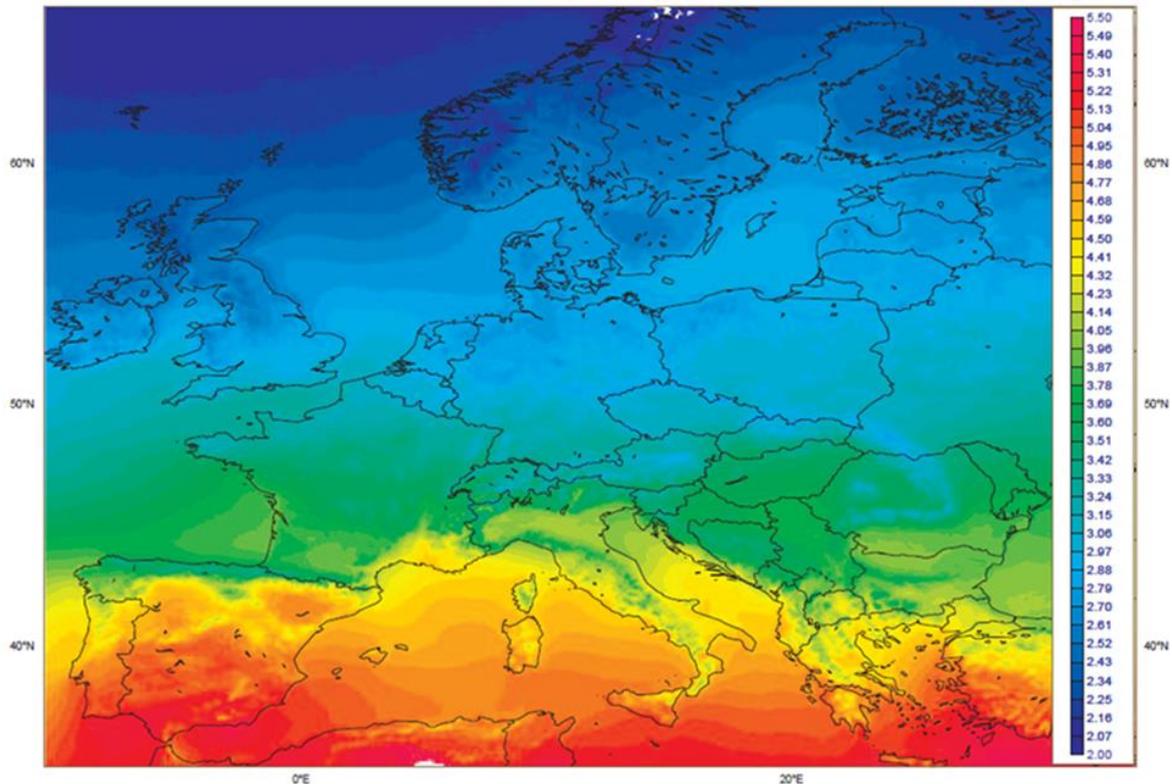


Figura 2.2. Irradiancia Global media en Europa (1983-2005) [kWh/m<sup>2</sup>][15]

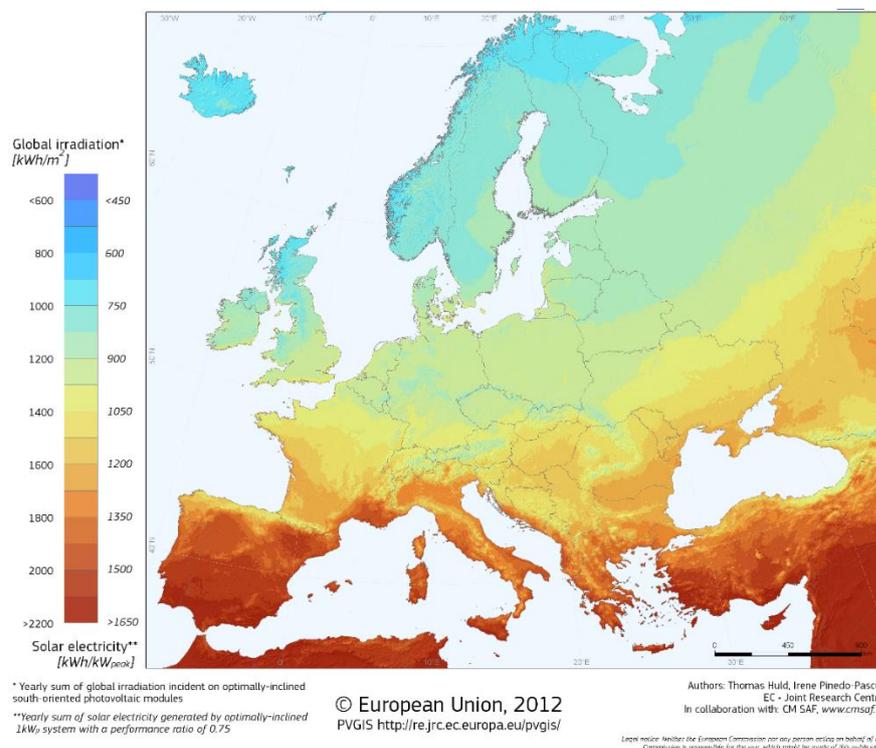


Figura 2.3. Potencial solar eléctrico de los países europeos [4][17]

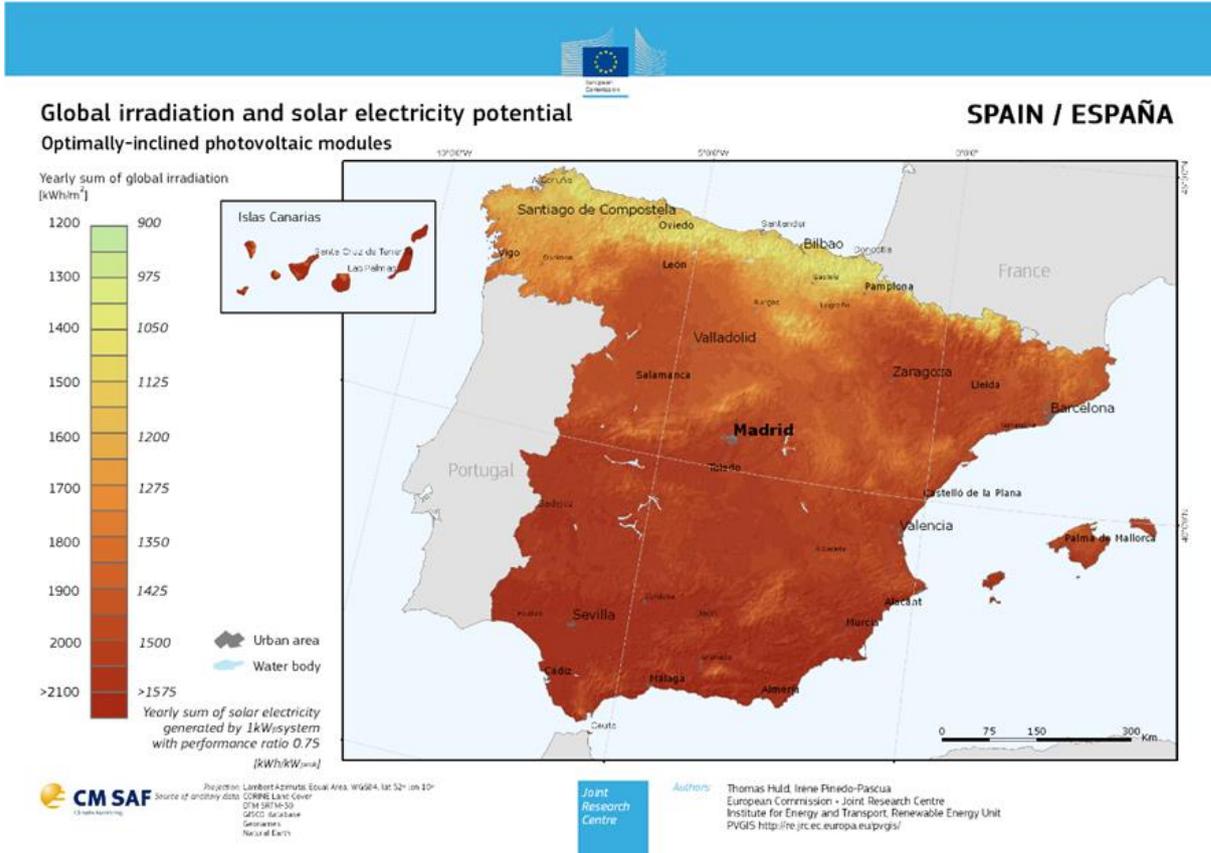


Figura 2.4. Radiación Global y potencial eléctrico solar en España[1] [4] [17]

# 3. Evaluación del diseño eléctrico y elección de equipos electrónicos

En este capítulo, se exponen todos los trabajos relacionados con la optimización del diseño de la instalación fotovoltaica a partir de equipos comerciales.

## 3.1. VISIÓN GENERAL DEL SISTEMA A ESTUDIAR

Las transformaciones que están teniendo lugar en el sector eléctrico están haciendo evolucionar la red hacia un modelo más inteligente y eficiente basado en las denominadas redes Smart Grid. Una definición más precisa sería hablar de una red eléctrica y de comunicación bidireccional, que mejora la fiabilidad, seguridad y eficiencia del sistema eléctrico desde su generación, a su transmisión, distribución y almacenamiento [18].

De una forma simplificada, estas redes están formados por tres elementos, principalmente:

- Los elementos que producen energía (Generación): En este caso, serán módulos solares, tecnología capaz de aprovechar el efecto fotoeléctrico y producir electricidad gracias a su exposición a la radiación solar. Se estima la energía producida por las placas solares para conocer la cantidad que debe ser entregada al bus de alimentación, trabajando estas en su punto MPPT y controlando en todo momento los niveles de potencia y de trabajo [19].
- Los elementos que consumen energía (Consumo): Engloba todas las cargas que extraen energía del bus de alimentación, siendo estas, todos los dispositivos multi-carga, que posteriormente se explicaran, encargados de satisfacer los nuevos servicios de los usuarios de la marquesina. Se debe estimar la energía consumida por estos elementos y sus niveles de potencia para asegurar un correcto diseño [19].
- Los elementos cuya misión es almacenar y recuperar la energía (Almacenamiento): Se usan baterías de litio encargadas de mantener el bus de alimentación en equilibrio. Controlando la energía a almacenar, tiempos de trabajo y potencias extremas [19].

El movimiento de energía entre los diferentes sistemas se realiza a través de sistemas electrónicos de potencia (SEP) que se estudiarán a lo largo de este capítulo.

Para la mejora de la marquesina se propone un sistema híbrido. Este sistema consistirá en:

- Paneles solares: Elementos productores de energía solar que constituyen el sistema de generación.
- Baterías: Forman el sistema de almacenamiento.
- Conexión a la red eléctrica: Esta conexión permite verter a la red la energía excedente o inyectar energía a la instalación en caso de necesitarse.
- Cargas: Son de diferentes tipos y aportan nuevos servicios a la marquesina.

En la Figura 3.1, se muestra un esquema del sistema híbrido anteriormente planteado.

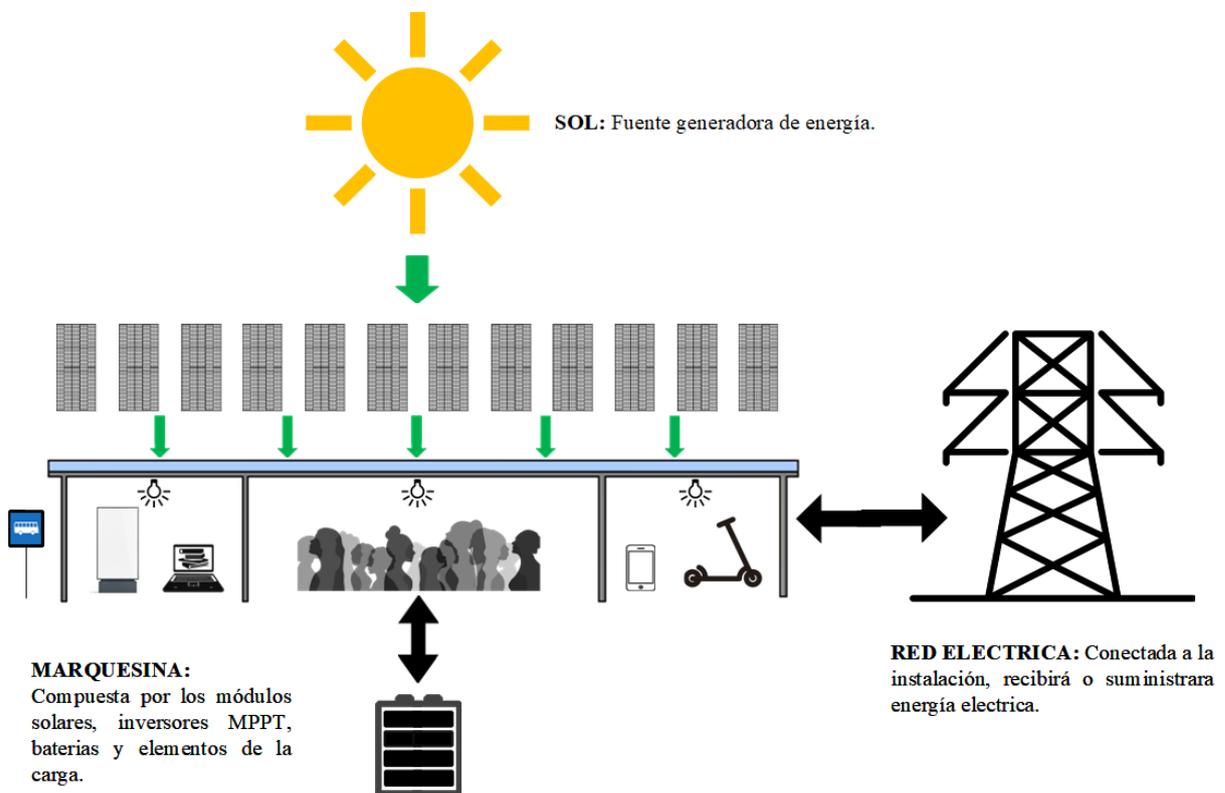


Figura 3.1. Esquema inicial del conjunto de la instalación

Una vez que se tiene claro el concepto a implementar, se le dará una visión más técnica al croquis mostrado. Este es el inicio del proyecto y sobre esta base se irá diseñando el sistema y toda la instalación fotovoltaica. En los apartados siguientes se procede a explicar las distintas decisiones tomadas respecto a los problemas a solventar en el diseño y la elección de los equipos comerciales para la instalación.

## 3.2. OPCIONES DE DISEÑO INICIAL

Teniendo claro el concepto buscado, el objetivo del estudio ahora es poder precisar la energía de la que dispone la instalación y también que cantidad de esta será posible verter a la red. Así se conseguirá tener un detallado conocimiento de la instalación a ejecutar, en vistas a escoger bien las placas solares, su número y dimensionar correctamente el resto de los elementos del proyecto. Existe un programa online y gratuito llamado PVGIS de la Unión Europea en el que se obtienen gran parte de los datos necesarios para el estudio y que se va a detallar en este capítulo.

La marquesina actual está orientada hacia el oeste. La mejor orientación para las placas solares es la sur ya que se optimiza su empleo y se capta la mayor cantidad de radiación. Otra buena opción sería orientar las placas hacia el oeste que, aunque tendría menor eficiencia que la opción sur también sería una muy buena propuesta. La orientación norte no ha sido analizada ya que esta orientación tendría una pérdida de eficiencia tan elevada que no sería suficiente para justificar la inversión [3].

Antes de seguir con el proceso de diseño se debe tomar una decisión importante respecto a la orientación de los paneles solares ya que será un aspecto clave en la futura producción energética. Se tienen dos opciones diferentes con ventajas y desventajas por lo que se explica la elección de una sobre la otra.

### 3.2.1.- Orientación sur

Esta es la orientación cuya instalación tendría mayor producción de electricidad anual. Las placas recibirán la mayor irradiación a lo largo del día por lo que la efectividad de la instalación es la mayor. Las condiciones óptimas se producen cuando las placas solares se colocan orientadas al sur, con una inclinación de 30° aproximadamente [3]. Respecto al sol no cabe duda de que esta es la mejor opción, pero debemos tener en cuenta otra serie de factores como por ejemplo los constructivos.

La posible disposición de las placas sería la siguiente:

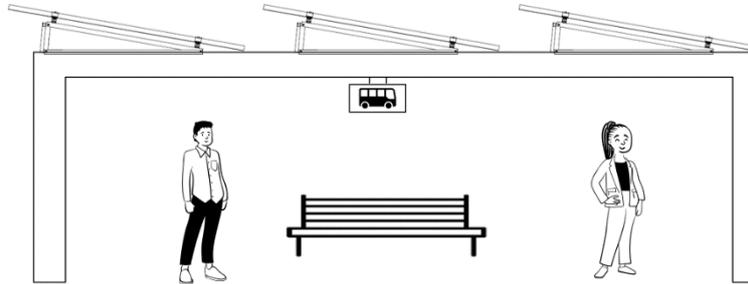


Figura 3.2. Simulación marquesita con módulos solares en orientación sur

Como se ve en la imagen, esta disposición de las placas sería más compleja. Necesitaría de la realización de nuevos cálculos como por ejemplo el cálculo de las sombras que provocarían las propias placas algo que reduciría la eficiencia. Por otro lado, el diseño de la estructura sería más complicado y supondría un coste más elevado. Además, la marquesina no está orientada exactamente al sur, tiene un pequeño ángulo de variación que nos proporciona unas pérdidas alrededor de 1-3% [4].

Resumiendo, esta opción a pesar de tener una mayor irradiación requiere una infraestructura más complicada de ejecutar, aparición de sombras y un coste más elevado.

### 3.2.2.- Orientación oeste

Se ha dejado claro que la mejor orientación es la Sur, pero en este caso específico, como se ha explicado no es la mejor solución. La posición oeste nos da menor radiación, con pérdidas por orientación de entre el 5% y el 15% [3]. Estas pérdidas no son lo suficiente significativas como para no instalar en esta disposición. Además, añadiendo un buen ángulo de pendiente en la orientación de las placas se consigue optimizar su rendimiento. Respecto al diseño, es más sencillo y requiere un coste más reducido.

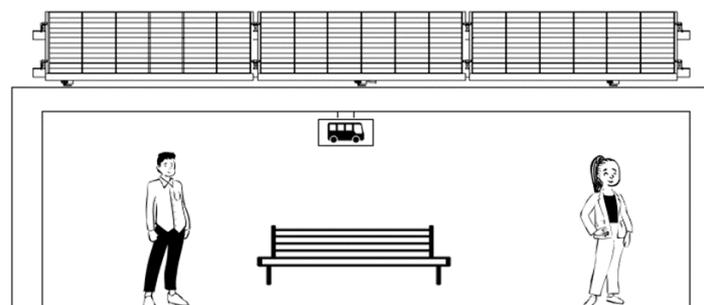


Figura 3.3. Simulación marquesita con módulos solares en orientación oeste

Concluyendo esta hipótesis, esta orientación aporta menor irradiación, pero esta diferencia no es tan significativa por lo que, junto al factor dimensional y estructural menos complejo, y al económico, se decide escoger la opción oeste para el resto de los trabajos que se presentan desde este momento. Como se ha dicho la orientación y la ubicación son muy importantes a la hora de llevar a cabo una instalación solar fotovoltaica, pero hay otros dos factores geométricos que se deben tener muy en cuenta. Estos son el ángulo azimut y el ángulo de inclinación de los módulos, que serán definidos en apartados siguientes.

### 3.3. ELECCIÓN PLACAS SOLARES

#### 3.3.1.- Fundamento teórico.

El primer paso es escoger unas placas fotovoltaicas adecuadas. Para ello se debe conocer en que se basa su funcionamiento y cuáles son las variables más significativas para su correcta elección.

Los paneles solares son los encargados de captar la energía del Sol que recibe la superficie terrestre y transformarla en energía apta para el consumo. La mayor parte de esta energía se encuentra en la parte visible del espectro de la radiación solar y representa el 47 % del total. Debido a esto se puede llegar a decir que los paneles solares son capaces de convertir la luz que proviene del sol en electricidad mediante las células solares que los forman[3].

Hay que tener en consideración que el sol transmite una radiación solar a la tierra, pero esta se reduce considerablemente en el trayecto en el que atraviesa la atmosfera hasta a la superficie terrestre, lugar donde se encuentran las placas solares de la instalación propuesta, debido fundamentalmente a los factores siguientes: gases atmosféricos, vapor de agua y polvo [3].

Como concepto destacable hay que mencionar que el número de fotoelectrones emitidos, es decir, la intensidad de corriente producida por las unidades solares es proporcional a la radiación recibida en el emplazamiento. Las células solares están fabricadas a partir de materiales semiconductores que reaccionan al contacto con la luz solar. En concreto, se componen de una capa de silicio y fósforo que proporcionan la carga negativa y de otra capa de boro que proporciona la positiva. De esta forma se logra que las celdas solares tengan dos cargas y por ende puedan generar electricidad. Si no hubiera dos cargas opuestas, la generación eléctrica no sería posible [3].

La capacidad de un panel solar para producir energía se mide en vatios [W] y se calcula multiplicando el voltaje [V] de un panel solar por la intensidad de corriente [A] que produce. Dentro de la industria fotovoltaica existen tres tecnologías considerables para la fabricación de células solares a base de silicio: silicio amorfo, silicio monocristalino y silicio policristalino [3], [20].

Para la realización de este proyecto se han escogido células solares de tipo monocristalino por una serie de motivos que se exponen a continuación:

- Estas unidades poseen una mayor potencia pico por metro cuadrado
- Se consigue un rendimiento óptimo incluso en días nublados.
- Sus pérdidas por temperatura son menores
- Normalmente tienen mejor garantía de producto.
- Pueden llegar a generar hasta un 20% más de electricidad que los paneles policristalinos si el día es soleado [3], [20].

Como punto en contra de esta elección se encuentra, el factor económico, ya que esta tecnología es más cara pero actualmente la diferencia no es tan destacable. El funcionamiento de las células monocristalinas es sencillo ya que estas son, simplemente, un diodo de unión p-n que se hace especialmente sensible a la iluminación, generando la deseada corriente eléctrica [20].

Se observa el circuito equivalente elemental de una célula de estas características.

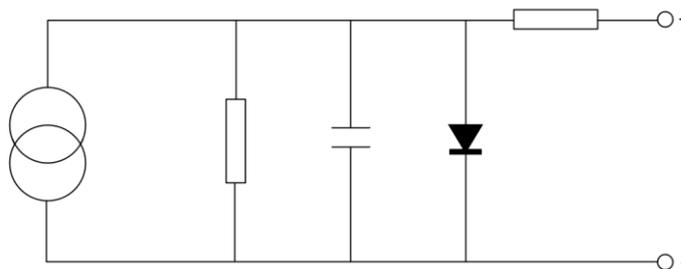


Figura 3.4. Circuito equivalente elemental de una célula fotovoltaica [3]

Este circuito se compone por un generador de corriente fotogenerada, un diodo, un condensador y dos resistencias, una en serie y otra en paralelo, formadas por los propios materiales.

### 3.3.2.- Parámetros eléctricos

Una vez que se ha definido la célula solar hay que entender su comportamiento y este viene fijado por la curva intensidad - tensión [I-V] en la que se muestran los parámetros típicos que definen a la célula. Como se puede ver en el gráfico, Figura 3.5, la corriente suministrada disminuye levemente hasta que se llega un valor de la tensión para el cual el campo de la unión decrece sensiblemente, por tanto, la corriente tiende a cero rápidamente.

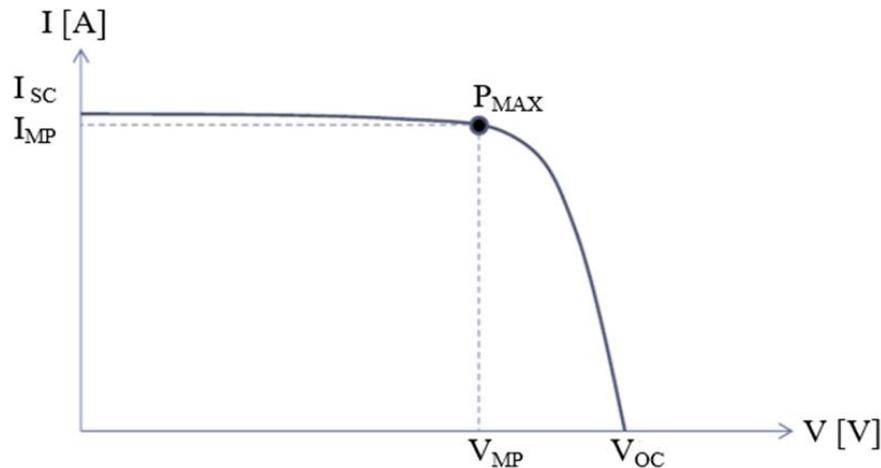


Figura 3.5. Curva de funcionamiento de un módulo solar [3][21]

Los parámetros eléctricos más interesantes que se deben mencionar son la corriente de cortocircuito ( $I_{SC}$ ), la tensión de vacío o de circuito abierto ( $V_{OC}$ ) y la potencia máxima del panel ( $P_{MAX}$ ), mostrados en la Figura 3.5. Una vez definidos estos valores hay que tener en cuenta dos conceptos fundamentales para interpretar las hojas de componentes de los módulos solares y realizar una óptima selección de estos.

- La tensión en bornas de la unión p-n del semiconductor varía en función de la temperatura, pero a un determinado valor de esta última dicha tensión es constante.
- La corriente suministrada por una célula solar a un circuito exterior es proporcional a la intensidad de la radiación y a la superficie de la célula [3].

Estas ideas pueden comprobarse bien en las siguientes gráficas, Figura 3.6.

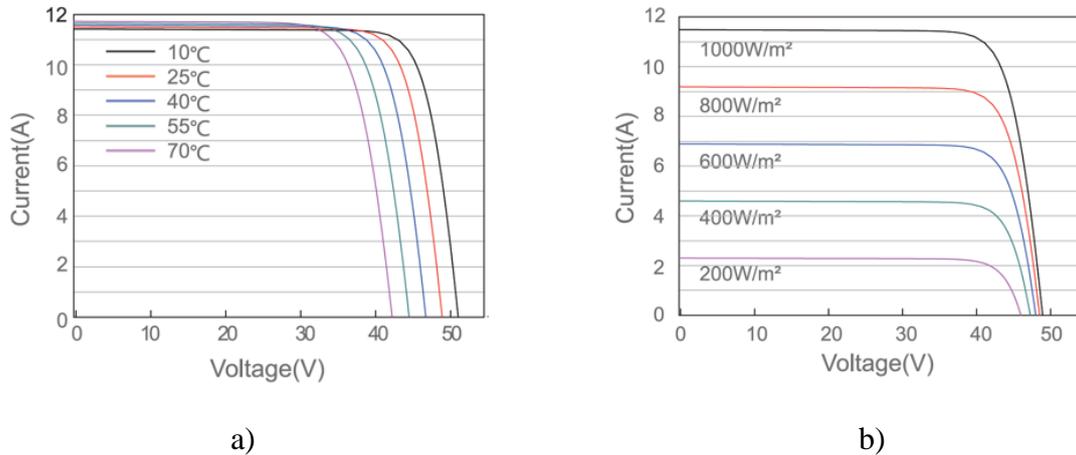


Figura 3.6. Gráficas de funcionamiento módulos solares. a) Con diferentes temperaturas e iluminación constante b) Con diferentes radiaciones y temperatura constante [5]

Se observa que al mantener la radiación constante y variar la temperatura, la curva inicial se va desplazando a la vez que la tensión máxima o tensión de circuito abierto se va haciendo más pequeña y manteniendo casi constante la corriente de corto circuito. Por otro lado, también se puede analizar que al mantener la temperatura constante y al variar ahora la radiación incidente se obtienen corrientes máximas o de corto circuito cada vez más pequeñas ya que están relacionadas proporcionalmente con las iluminaciones apreciándose ahora la estabilidad de la tensión de circuito abierto frente a los cambios de iluminación [3].

### 3.3.3.- Elección



Figura 3.7. Modelo de placa solar escogido JAM72S20 445-470/MR[5][22]

Se escogen las placas solares, buscando optimizar esta elección, ya que serán la base del diseño y a partir de estas proceder al dimensionamiento y elección de los demás componentes de la instalación. La metodología usada consiste en elegir el máximo número de módulos solares que permita albergar la cubierta consiguiendo maximizar la generación energética.

Para la elección de las placas, hoy en día se dispone de un amplio mercado, con unidades de diversas opciones por lo que se han tenido en cuenta primordialmente los siguientes agentes para reducir la búsqueda y escoger las más favorables para el proyecto:

- **Dimensional:** Se han buscado unas placas que se amolden a la superficie propuesta. Deben de ser estrechas y largas para poder colocar el mayor número de estas optimizando el área de la cubierta.
- **Pesos:** Es importante escoger unas placas que combinen una gran potencia y buenas especificaciones técnicas con un peso no muy elevado ya que luego eso influye en el cálculo estructural de la marquesina y se debe tener una visión global del proyecto desde el primer momento.
- **Económico:** A pesar de que es un proyecto de investigación, como es lógico, hay que tener en cuenta el aspecto económico.
- **Técnico:** Se han escogido unas placas con buenas especificaciones técnicas ya que se desea tener una instalación de gran calidad. Las placas que se han buscado son de media-alta potencia.

Los módulos elegidos son de la empresa Ja Solar, de origen chino, cuyas placas son usadas ampliamente en el sector debido a su versatilidad y sus buenas condiciones técnicas. Se escogen las placas del modelo JAM72S20 445-470/MR para trabajar con las especificaciones de potencia pico de 455 [W], que facilitarían el diseño eléctrico [22].

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc( $\alpha_{Isc}$ )	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc( $\beta_{Voc}$ )	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax( $\gamma_{Pmp}$ )	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT							OPERATING CONDITIONS		
TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR			
Rated Max Power(Pmax) [W]	336	340	344	348	352	355	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC	
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61	47.84	Operating Temperature	-40°C ~+85°C	
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	40.10	Maximum Series Fuse Rating	20A	
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	9.42	Maximum Static Load,Front*	5400Pa(112 lb/ft²)	
Max Power Current(Imp) [A]	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81	8.86	Maximum Static Load,Back*	2400Pa(50 lb/ft²)	
NOCT	Irradiance 800W/m², ambient temperature 20°C,wind speed 1m/s, AM1.5G						NOCT	45±2°C	
							Safety Class	Class II	
							Fire Performance	UL Type 1	

\*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.

Figura 3.8. Características eléctricas STC y NOCT JAM72S20 445-470/MR [5]

Se destaca en la Figura 3.8, las características eléctricas importantes para el diseño; por un lado, las especificaciones bajo las Standard Test Conditions (STC) para la estimación de la producción solar por parte los módulos y por otro lado las del ensayo Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) para dimensionar el circuito eléctrico y escoger los demás elementos de este [2]. Otro parámetro importante lo constituye la variación de estos parámetros en función de la temperatura. En la tabla 3.1 se puede ver un resumen de temperaturas durante los últimos 15 años y se comprueba que no hay grandes diferencias térmicas extremas en el tiempo en la ubicación en cuestión, por lo que se llega a la conclusión de que la temperatura no es un factor determinante.

Temperatura media mensual

Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Enero	7.5	6.2	8.5	9.2	7.3	6.5	7.7	8.3
Febrero	5.1	6.5	10.4	9.9	7.6	7.3	8.5	6.6
Marzo	9.7	11.7	9.3	9.4	9.2	8.9	10	10
Abril	10.9	11.2	12.1	10.8	9.8	11.9	13.4	9.6
Mayo	13.7	14.3	13.8	13.5	13.5	12.7	14.5	14.4
Junio	18.1	17.4	16.2	16.1	16.8	15.9	15.9	16.3
Julio	18.7	20	17.3	17.6	17.6	18.5	17	17.6
Agosto	19	18.4	17.6	18.1	18.7	18.8	18.4	19.1
Septiembre	17	18.3	16.1	16	17.3	16.8	18.1	17.4
Octubre	15.5	15.8	13.8	13	15.6	13.8	15.1	13.9
Noviembre	10.1	12.8	9.4	9.2	11.6	9.5	12	10
Diciembre	7.5	8.5	8	7.7	7.7	7.3	9.6	9.7

Month	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enero	8.6	9.3	7.4	9.7	7.5	9.1	7.6	8.8
Febrero	7.2	8.8	7.2	8.5	9.6	6.6	9.3	10.4
Marzo	9.4	10	9.3	8.8	10.5	8.8	10.2	9.8
Abril	10.4	12.2	12.5	10.2	11.8	11.4	11.1	12.9
Mayo	11.1	12.8	14	13.8	15.2	13.3	13.6	15.8
Junio	14.8	16.5	16.9	16.4	17.3	16.7	15.3	16
Julio	19.8	18	19.1	18.6	18.3	19.2	18.9	18.7
Agosto	18.6	18	18.6	19.5	18.6	19.6	19.1	19.1
Septiembre	17.8	18.6	15.8	17.8	16.4	18.1	17.4	17.5
Octubre	15.7	16.4	14.6	14.6	15.3	13.8	14.9	13.9
Noviembre	10.4	11.8	12.2	10.4	10.3	11.1	10.5	12
Diciembre	8.4	8.5	11.4	9.3	8.9	10.4	9.7	8.8

Tabla 3.1. Resumen temperaturas medias mensuales en ubicación propuesta (2005-2020), PVGIS[4], [23]

### 3.3.4.- Número de placas

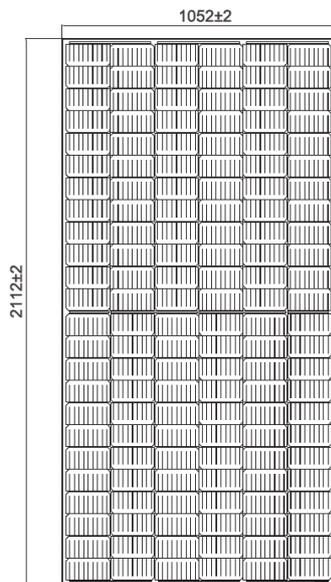


Figura 3.9. Dimensiones placa solar seleccionada JAM72S20 445-470/MR [5]

Escogida la placa se procede a decidir cuantas unidades colocar. La técnica para esta elección consiste en cubrir toda la cubierta para así optimizar el espacio disponible, teniendo en cuenta que las placas solares serán colocadas en la forma óptima que proporcionará el estudio realizado con el programa PVGIS [4].

La cubierta de la marquesina actual tiene un área de 26 m<sup>2</sup> teniendo una longitud de 13 m y un ancho de 2 m, como se visualiza en la

Figura 1.6. Para poder aumentar el número de placas, sin causar graves aumentos de peso y dimensiones, se decide aumentar las dimensiones de esta cubierta, hecho que también permitirá convertir el interior de la marquesina en una zona más espaciosa. La cubierta se incrementará 1 m de largo y 50 cm de ancho siendo las nuevas dimensiones las expuestas en la siguiente Figura 3.10.

*Dimensiones JAM72S20 445 – 470/MR = (2112 ± 2 ) mm x (1052 ± 2) mm*

*Dimensiones de Cubierta de la futura marquesina = 2,5m x 14m = 35 m<sup>2</sup>*

Figura 3.10. Comparación dimensiones del módulo solar y la futura cubierta.

Se tiene en cuenta que las placas estarán inclinadas por lo que el dato más importante es el largo de la placa, 1054 mm, con el objetivo de conocer cuantas placas se pueden colocar a lo largo de la cubierta como máximo.

$$N^{\circ} \text{ placas} = \frac{\text{Longitud cubierta}}{\text{Longitud placa}} = \frac{14m}{1,054 m} = 13,28 \text{ placas} \quad (3)$$

Según este sencillo cálculo, el número de módulos solares a colocar sería de 13 pero se decide que se colocaran 12 módulos solares, dando un cierto margen dimensional en la colocación y una más sencilla agrupación de los módulos. Conociendo el número de placas solares a colocar, se calcula la potencia pico total de la instalación solar.

$$\text{Potencia pico FV} = 455 \frac{W}{\text{placa FV}} \times 12 \text{ placas FV} = 5460 W = 5,46 kW \quad (4)$$

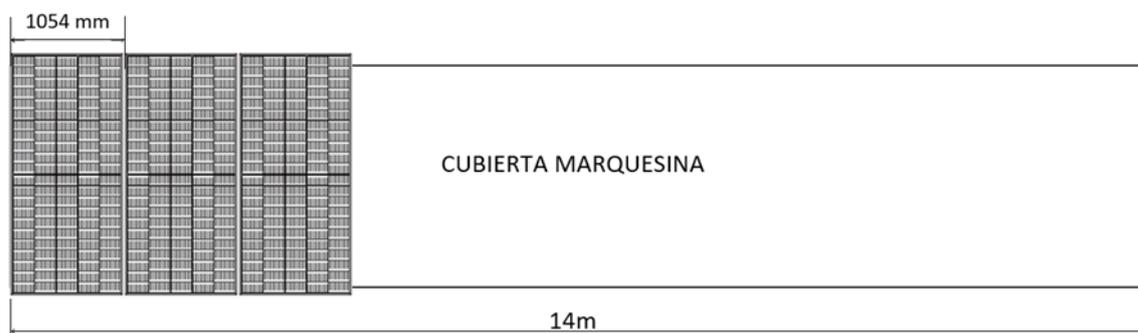


Figura 3.11. Comparación entre longitud de placas solar y futura cubierta, útil para cálculo de número de placas

Como aclaración, faltaría decidir el número de placas colocadas en serie o en paralelo, pero esto se va a analizar en el apartado correspondiente a los inversores ya que están ligados ambos temas

### 3.4. ESTIMACION DE LA PRODUCCION SOLAR. SOFTWARE PVGIS

Conocida la orientación que va a presentar la instalación y el número de placas solares, se debe estimar la producción solar posible por parte de la futura instalación, con el objetivo de poder dimensionar el resto del circuito. Esta acción se realiza por medio del programa PVGIS el cual es un software libre y creado por la unión europea que proporciona diversos datos de interés y facilita la labor en este estudio [1].



Figura 3.12. Mapa de España en PVGIS [4]

PVGIS es una aplicación web que permite al usuario obtener datos acerca de la radiación solar y de la producción de energía fotovoltaica en la mayoría de las partes del mundo. Es completamente gratuito, sin registro alguno, pudiendo acceder a gran variedad de datos de interés [4], [17].

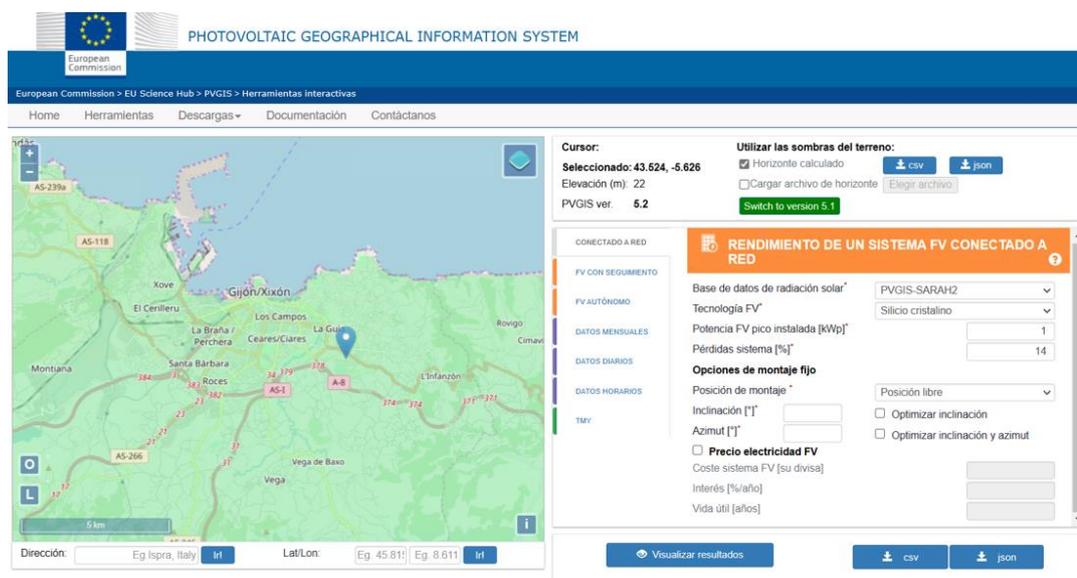


Figura 3.13. Interfaz en PVGIS para calculo sistema conectado a Red [4]

Este software tiene una serie de módulos de obtención de datos, en función del tipo de sistema fotovoltaico, diferenciando si este es autónomo, conectado a red, o si posee una estructura de seguimiento solar. Adicionalmente dispone de datos mensuales, diarios y horarios de gran infinidad de variables, convirtiendo este programa en una herramienta de gran utilidad [17]. La producción energética de los módulos solares depende de gran cantidad de parámetros y en función de los valores que se introducirán en el programa se obtendrán unos resultados energéticos por lo que es necesaria la optimización de los parámetros con la meta de obtener la máxima energía posible en la ubicación y disposición escogidas [3].

Dentro de estos parámetros, el ángulo azimut y el ángulo de elevación, son fundamentales, por esta razón, se usa un subapartado para presentarlos.

### 3.4.1.- Ángulo azimut

Se debe tener en cuenta en el estudio ya que su variación es muy sensible en los resultados y es importante encontrar su valor óptimo. Este ángulo es el que presentan los módulos fotovoltaicos respecto a la dirección sur.

Teóricamente se define como el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del módulo con el meridiano del lugar. Teniendo en cuenta que, si el ángulo está formado entre el sur geográfico y el oeste, su valor será positivo, pero si el ángulo está formado entre el sur geográfico y el este, el valor será negativo [3], [24].

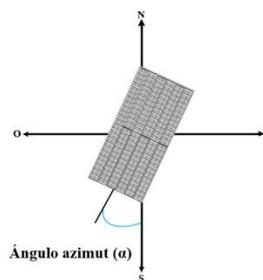


Figura 3.14. Ángulo azimut[24]

Siendo:

$-90^\circ$  este,  $0^\circ$  sur y  $90^\circ$  oeste.

En este proyecto se ha decidido optar por una orientación oeste tanto de la marquesina como de los módulos solares, por tanto, en aplicación de la teoría, el ángulo azimut escogido no se podrá cambiar y tendrá un valor de  $90^\circ$ , algo que se verá reflejado en el cálculo de la producción energética.

### 3.4.2.- Ángulo de inclinación

Este ángulo es el que forman las placas solares con la superficie horizontal de la cubierta, donde estas se encuentran apoyadas. Los paneles producen la máxima energía cuando los rayos solares inciden perpendicularmente a la superficie de estos [24].

Se debe buscar el ángulo de inclinación óptimo, es decir, el que permita una radiación lo más perpendicular posible a la superficie de los paneles. Este ángulo, lógicamente no es el mismo durante todos los meses del año, ya que la inclinación de los rayos es mayor cuando se acerca el verano. En España, estos ángulos varían de  $20$  a  $25^\circ$  en verano y  $55$  a  $60^\circ$  en invierno respecto a la horizontal. Hay que mencionar que los mejores datos se obtienen con un ángulo de aproximadamente  $30^\circ$  aunque en invierno el ángulo que nos aporta más irradiación es  $60^\circ$  [3].

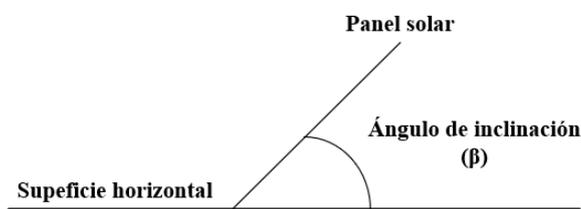


Figura 3.15. Ángulo de inclinación[24]

La mejor estrategia sería poder variar la inclinación de las placas, pero esto supondría una mayor complejidad y costes de la instalación. En el apartado siguiente, se realizan una serie de estudios para valorar que posiciones son más beneficiosas, apoyándose en los datos proporcionados por PVGIS, valorando la idea inicial del aprovechamiento de la energía producida durante el invierno y la venta de esta durante el verano.

### 3.4.3.- Estudios

En el programa PVGIS, el módulo usado será el correspondiente al cálculo de la producción energética para módulos fotovoltaicos conectados a red. En el cálculo se tiene en cuenta la radiación solar disponible, la temperatura del módulo solar, la velocidad del viento y el tipo de módulo solar. El usuario puede elegir el tipo de montaje de los módulos, bien un montaje libre o integrados en un edificio. PVGIS puede calcular además la inclinación y orientación óptimas para maximizar la producción anual [4].

Se considera oportuno realizar una serie de estudios con el programa para garantizar el alcance de la mejor solución, obteniendo tanto los valores de irradiación mensual como los valores de producción energética estimada en la ubicación. Con el fin de que el programa realice sus cálculos, el usuario debe introducir una serie de datos que por defecto serán los dispuestos en la siguiente tabla, teniéndose en cuenta que para los distintos estudios se cambian los ángulos tanto azimut como de inclinación teniendo estas variaciones distintas repercusiones sobre los resultados.

BASE DE DATOS TECNOLOGÍA POTENCIA PICO PÉRDIDAS POSICIÓN DE MONTAJE	SARAH2 silicio cristalino 5.46 kW 14% <i>montaje libre</i>
---	--

Tabla 3.2. Parámetros iniciales, cálculo en PVGIS

Estos estudios son:

- 1<sup>er</sup> estudio: Se plantea la orientación escogida, dirección oeste, con un azimut de 90°, siendo el programa el encargado de calcular el ángulo de inclinación óptima.
- 2<sup>o</sup> estudio: Se plantea la misma orientación que en el primer caso, pero con un ángulo de inclinación nulo, es decir, suponiendo unos módulos colocados sobre la cubierta sin ninguna inclinación sobre la horizontal.
- 3<sup>er</sup> estudio: El programa será el encargado de calcular los ángulos azimut y de inclinación óptimos. Esta simulación se hace con el fin de obtener los mejores datos de producción posibles en la ubicación, aunque este diseño no se vaya a realizar, debido a la aparición de sombras entre paneles y a los costes que supondría esta instalación.

ESTUDIO 1	
Datos proporcionados:	
Localización [Lat/Lon]:	43.524,-5.627
Horizonte:	Calculado
Base de datos:	PVGIS-SARAH2
Tecnología FV:	Silicio cristalino
FV instalada [kWp]:	5.46
Pérrdidas sistema [%]:	14
Resultados de la simulación:	
Ángulo de inclinación [°]:	31 (opt)
Ángulo de azimut [°]:	90
Producción anual FV [kWh]:	5166.45
Irradiación anual [kWh/m2]:	1202.57
Variación interanual [kWh]:	188.57
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia [%]:	-3.85
Efectos espectrales [%]:	1.3
Temperatura y baja irradiancia [%]:	-6.06
Pérrdidas totales [%]:	-21.32
ESTUDIO 2	
Datos proporcionados:	
Localización [Lat/Lon]:	43.524,-5.627
Horizonte:	Calculado
Base de datos:	PVGIS-SARAH2
Tecnología FV:	Silicio cristalino
FV instalada [kWp]:	5.46
Pérrdidas sistema [%]:	14
Resultados de la simulación:	
Ángulo de inclinación [°]:	0
Ángulo de azimut [°]:	90
Producción anual FV [kWh]:	5470.14
Irradiación anual [kWh/m2]:	1272.92
Variación interanual [kWh]:	147.03
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia [%]:	-4.22
Efectos espectrales [%]:	1.28
Temperatura y baja irradiancia [%]:	-5.66
Pérrdidas totales [%]:	-21.29
ESTUDIO 3	
Datos proporcionados:	
Localización [Lat/Lon]:	43.524,-5.627
Horizonte:	Calculado
Base de datos:	PVGIS-SARAH2
Tecnología FV:	Silicio cristalino
FV instalada [kWp]:	5.46
Pérrdidas sistema [%]:	14
Resultados de la simulación:	
Ángulo de inclinación [°]:	37 (opt)
Ángulo de azimut [°]:	-1 (opt)
Producción anual FV [kWh]:	6486.72
Irradiación anual [kWh/m2]:	1489.38
Variación interanual [kWh]:	186.45
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia [%]:	-2.85
Efectos espectrales [%]:	1.45
Temperatura y baja irradiancia [%]:	-5.89
Pérrdidas totales [%]:	-20.23

a)

b)

c)

Tabla 3.3. Resumen de los estudios realizados en PVGIS:  
a) 1<sup>er</sup> Estudio b) 2<sup>o</sup>Estudio c) 3<sup>er</sup> Estudio

Usando los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que el estudio 2 es el adecuado para usar en la instalación propuesta, no solo por sus valores energéticos óptimos, sino que al no necesitar ningún ángulo de inclinación esto supone una reducción de costes estructurales. Para más información detallada de los estudios realizados se podrá consultar el anexo correspondiente, Anexo I,

### **3.5. CONSUMO DE POTENCIA ESTIMADO POR LAS CARGAS**

Como se ha mencionado en la introducción, esa energía generada por la tecnología fotovoltaica tendrá dos usos principales: dar una serie de servicios a los usuarios y ser vertida a la red en caso de excedente. Por lo tanto, es necesario conocer qué servicios se quieren dar y qué dispositivos se deben colocar en la marquesina con el fin de poder estimar la potencia y consumo de estos elementos. Estos dispositivos compondrán la carga del sistema eléctrico y la energía que no se pueda aportar a las cargas, será entregada por la red.

Hacer una buena estimación de la potencia y del consumo es esencial para dimensionar correctamente la instalación y no tener problemas de suministro, teniendo una idea de la cantidad de energía que podría sobrar al final del día o de las estrategias a plantear.

#### **3.5.1.- Dispositivos de la carga del circuito**

Se ha decidido que la marquesina disponga de una serie de equipamientos para aprovechar la energía generada por la instalación solar con el objetivo de generar un valor extra y diferenciador sobre esta instalación. Se han escogido unos elementos que formaran parte de la carga del circuito eléctrico. Estos equipos tienen la misión de dotar a la marquesina de unos servicios cuya función es mejorar la experiencia del usuario para hacer de la marquesina un lugar confortable para los estudiantes.

Los cálculos de potencia, consumo y dimensionamiento han sido realizados con los equipos presentes en este documento, en el caso de introducir otros de distinto fabricante deberán de contar con características similares o el resultado puede variar y llevar a errores.

En la siguiente tabla, Tabla 3.4, se visualizan los distintos elementos que componen la carga de la instalación desarrollándose el porqué de su elección, sus especificaciones y demás datos de interés en el Anexo II.

CÓDIGO	DISPOSITIVO
CIF_LU1	Luz led ambiente
CIF_LU2	Foco led accesos
CIF_LU3	Panel publicitario e informativo luminoso
CIF_LU4	Pantalla TV informacion
CIF_CA1	Cargador para móvil (carga rápida)
CIF_CA2	Cargador ordenador portátil
CIF_CA3	Cargador patinete electrico
CIF_CAM	Cámara de vigilancia

Tabla 3.4. Lista de dispositivos que forman parte de la carga de la instalación

### 3.5.2.- Potencia y consumo de la instalación

Una vez que se han escogido los distintos receptores, para calcular la potencia prevista de la instalación se tiene que sumar la potencia de cada uno de los receptores de la instalación en vatios y se obtendrá la potencia máxima de la instalación [25].

CÓDIGO	POTENCIA MÁXIMA [W] (DISPOSITIVO)	UNIDADES	POTENCIA SIN CORREGIR [W]
CIF_LU1	13,5	3	40,5
CIF_LU2	4,7	4	18,8
CIF_LU3	39	1	39
CIF_LU4	32	1	32
CIF_CA1	20	8	160
CIF_CA2	90	3	270
CIF_CA3	71	4	284
CIF_CAM	3,6	1	3,6

Tabla 3.5. Potencias de los elementos de la carga del sistema

$$Potencia (W) = Potencia\ unitaria \left( \frac{W}{u} \right) \times n^{\circ}\ unidades (u) \quad (5)$$

El valor de la potencia total máxima sin corregir de la carga es de 847,9 W

Hay que tener cuenta que se han tomado las potencias máximas de cada uno de los receptores y se está suponiendo que están todos funcionando a la vez, un caso que evidentemente es improbable. Este cálculo tiene la utilidad de conocer una estimación de la potencia de la instalación a pesar de que se usen cifras sobredimensionadas. Por tanto, al dato de potencia máxima obtenida se le pueden realizar una serie de correcciones usando coeficientes de simultaneidad para que los valores sean más acordes con la realidad.

Se aplica un coeficiente a cada uno de los receptores lo que hará que se ajuste este valor de potencia buscado. El coeficiente más utilizado suele ser 0,7 aunque en función de una serie de estimaciones acerca de los tiempos de uso, este coeficiente variará dependiendo del receptor [25], [26].

Una vez definidos los elementos a implementar y sus potencias pico se deben establecer los tiempos de que estos dispositivos se encuentran encendidos durante el día para así poder calcular el consumo real de estos [25].

La marquesina está diseñada para funcionar a pleno servicio durante el curso universitario y por el contrario en verano esta instalación no recibe tanto uso. Además, la radiación solar no es igual en invierno que en verano así que los consumos serán diferentes. Se decide crear tres periodos de funcionamiento de la marquesina para evaluar los consumos y las horas de funcionamiento. De estos periodos se escogerá el crítico, es decir, el que más consumo produce para luego compararlo con la producción eléctrica de las placas solares también en este periodo y así poder realizar un dimensionamiento de la instalación.

Los tres periodos que se distinguen son:

- Primer periodo o periodo de invierno.
- Segundo periodo o periodo estándar.
- Tercer periodo o periodo de verano.

PERIODOS	NOMBRE	MESES
PERIODO 1	INVIERNO	octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero
PERIODO 2	ESTÁNDAR	septiembre, marzo, abril, mayo y junio
PERIODO 3	VERANO	julio y agosto

Tabla 3.6. Periodos de funcionamiento de la marquesina

En los dos primeros periodos, el curso universitario se está desarrollando, en cambio, en verano las clases, exámenes y resto de actividades universitarias se encuentran reducidas al mínimo teniendo lugar una menor afluencia de personas en este periodo. Este hecho unido a una mayor producción energética y al reducido consumo lleva a la decisión de que la marquesina se encuentre “apagada” durante el periodo de verano, no consumiendo nada de energía y usando toda la producción solar para otros fines.

Se tiene en cuenta en que hay momentos del año en el que no es necesaria una instalación que cuente con los servicios propuestos ya que hay un número muy escaso de usuarios. Por lo que, aplicando una política de ahorro energético, se decide que en estas fases

que en concreto corresponden al periodo de verano y los fines de semanas del curso académico, la carga de la instalación no consuma electricidad teniendo a todos los receptores antes descritos, fuera de servicio. Esta solución se toma con el objetivo de poder emplear la energía generada por la instalación fotovoltaica en este periodo para unos fines más útiles optimizando la producción energética. Estos fines van desde alimentar otros servicios universitarios o a ser vertida a la red para recibir una compensación económica.

Todos los cálculos que se supondrán de ahora en adelante, en este apartado, serán desarrollados en el Anexo III. Se definen los tiempos de funcionamiento de los receptores para cada uno de los periodos. Después se calcula el consumo diario en cada uno de los periodos a partir de la siguiente ecuación, sumando los consumos unitarios de cada receptor.

$$\text{CONSUMO} \left( \frac{Wh}{\text{día}} \right) = \text{unidades}(u) \times \text{potencia} \left( \frac{W}{u} \right) \times \text{coeficiente simultaneidad} \times \text{tiempo funcionamiento diario} \left( \frac{h}{\text{día}} \right) \quad (6)$$

Este consumo es el realizado por la carga, pero se estima que, añadiendo las pérdidas por parte de la batería, placas solares, circuito e inversor y añadiendo un, margen de seguridad el nuevo consumo real será un 25 % superior [25].

Se realiza este cálculo para cada uno de los periodos, teniendo el siguiente resultado:

- CONSUMO DIARIO INVIERNO:  $6088 \frac{Wh}{\text{día}}$
- CONSUMO DIARIO ESTANDAR:  $5930 \frac{Wh}{\text{día}}$
- CONSUMO DIARIO VERANO:  $115,2 \frac{Wh}{\text{día}}$

Como conclusión del cálculo de consumo, se obtiene que el periodo crítico, con mayor consumo eléctrico, es invierno. Por otro lado, se calculan los consumos mensuales como se explica en el ANEXO III. CÁLCULOS ACERCA DE CONSUMOS Y HORARIOS

En base a los datos obtenidos, simplificados en la Figura 3.16 y la Figura 3.17, se muestran tanto la energía mensual generada como el consumo mensual y en base a esto se deben tomar las decisiones en términos de almacenamiento de energía, vertido a la red o no y usos, que serán explicadas en el apartado 3.9.

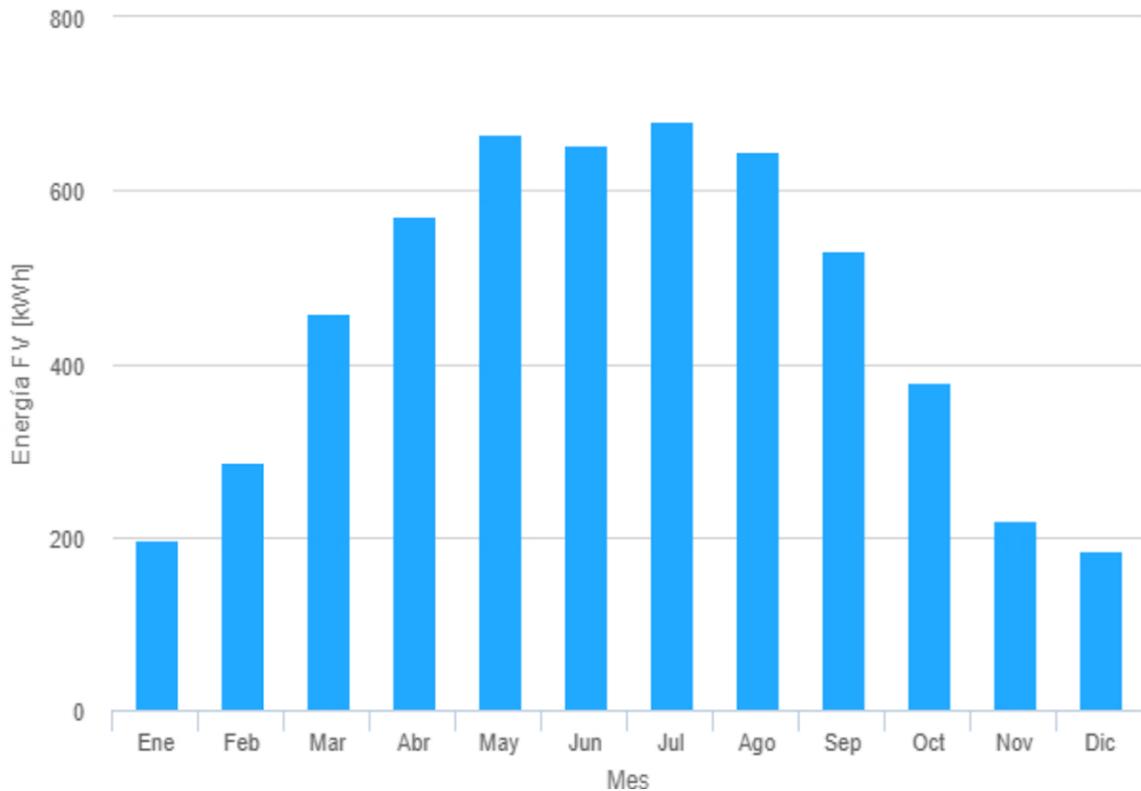


Figura 3.16. Energía mensual [KWh] producida por la instalación, según los datos del estudio 2 en PVGIS [4]

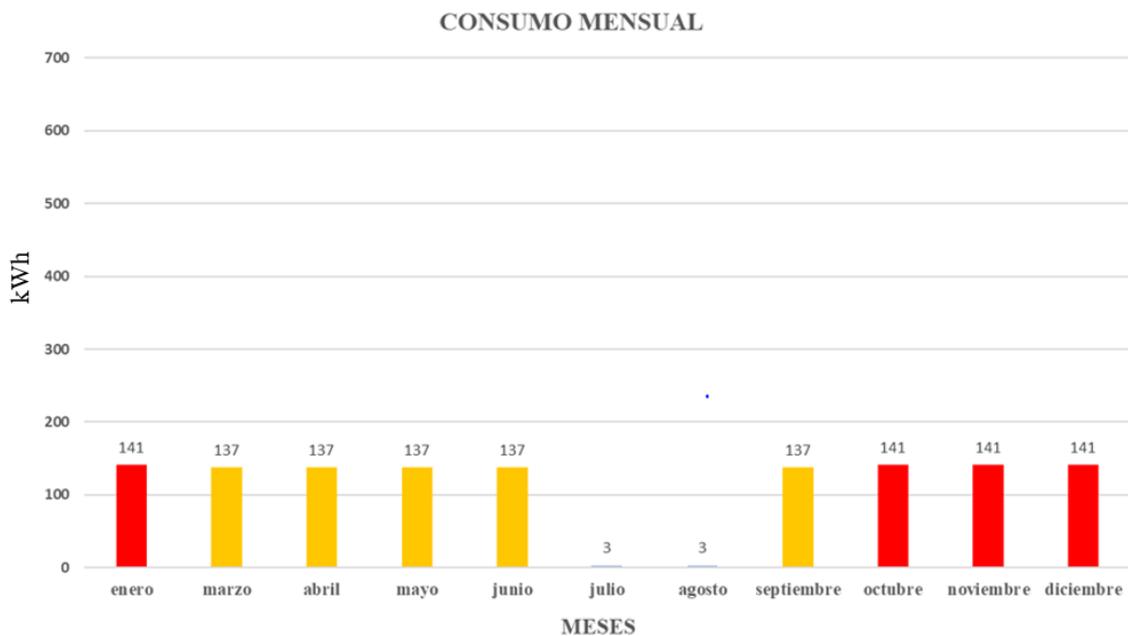


Figura 3.17. Consumo mensual [KWh] de la carga de la instalación propuesta [ ver ANEXO III. CÁLCULOS ACERCA DE CONSUMOS Y HORARIOS]

## 3.6. INVERSOR SOLAR

### 3.6.1.- Introducción

Otro elemento indispensable de la instalación fotovoltaica es el inversor, dispositivo clave ya que va a marcar realmente la diferencia de calidad y rendimiento de la instalación. Es importante una buena elección de este componente. Un inversor de placas solares es un convertidor que transforma la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna. Esta corriente puede ser utilizada por el usuario, almacenada en baterías o vertida a la red. Este elemento es el encargado de inyectar la energía producida por los paneles solares a la red eléctrica.

Existen dos tipos de inversiones en cuanto a producción solar se refiere:

- Inversor de enlace a red (GTI): Un inversor de red convierte la corriente continua en una corriente alterna adecuada para inyectarse en la red eléctrica general. Los inversores de conexión a red se utilizan entre generadores locales de energía eléctrica: panel solar, turbina eólica, hidroeléctrica y la red [27]. Los GTI suelen inyectar corriente en fase con la tensión de red (tensión en el punto de acoplamiento). De esta manera no se maneja energía reactiva, sino que solo se inyecta potencia activa. Sin embargo, existe la posibilidad de inyectar potencia reactiva si el suministrador así lo solicitase. La mayoría de los inversores comerciales no cuentan con esta posibilidad.
- Inversor aislado (GFI): Estos inversores están contemplados única y exclusivamente para instalaciones aisladas de la red eléctrica, operando en isla. No son compatibles con la conexión a red puesto que no tienen un sistema de sincronización con la misma [28].

A modo de ejemplo, se presenta un caso de uso de cada uno de estos dos tipos de inversores. Por un lado, en una cabaña en la montaña o en una autocaravana que cuenten con placas solares, se necesitará un inversor de tipo aislado ya que esta instalación debe ser autosuficiente al no disponer de red eléctrica. Por otra parte, en una instalación donde sí que se dispone de red eléctrica se tiene que usar un inversor de enlace a red [29].

Sin embargo, existe una tercera opción para este caso, que son los denominados inversores híbridos. Este tipo de inversor puede utilizarse tanto para instalaciones no conectadas a la red eléctrica, como para instalaciones que sí lo están, puesto que detectan la

presencia de la red eléctrica. A parte de inyectar en el bus de alterna, controlan la batería, evitando la necesidad de usar un convertidor bidireccional para manejar la energía de esta [29].

Otra clasificación para los inversores solares corresponde a separarlos en función de la tecnología empleada. Aunque existen tantas variedades como fabricantes, se pueden clasificar según tres tipos, principalmente:

- **Inversor de string:** La mayoría de los sistemas de energía solar de pequeña escala utilizan un inversor de este tipo, también llamado inversor de cadena. Trabaja de forma centralizada ya que todos los paneles de la instalación se conectan a un solo inversor y éste convierte la energía generada. Son la opción de menor coste y requieren de mantenimiento fácil. Sin embargo, debido a su principio de funcionamiento, colocación de los paneles en serie y agrupación de estos en ramales, hay ciertos tipos de instalaciones en las que su uso no es apropiado. Si hay una sombra sobre un panel afecta a el ramal, es decir, si un único panel del ramal se ve afectado por una sombra a cualquier hora del día o de forma estacionaria, la potencia entera del ramal se ve reducida a la potencia del panel que se encuentra en la zona sombreada. Por ello en zonas afectadas por sombras o con placas solares con distinta inclinación u orientación este inversor no es una buena solución [20].
- **Micro inversores:** En las instalaciones con micro inversores, cada placa solar tiene un pequeño inversor solar instalado, haciendo que el sistema se comporte de forma distribuida en vez de centralizada. Esto implica que cada panel sea un generador completamente independiente del resto estableciendo un sistema más eficiente y evitando el problema de las sombras antes mencionado. También permiten supervisar el rendimiento de placas solares específicas, lo que facilita la identificación de problemas de producción si se diese el caso. Las mayores desventajas de este sistema son su mayor coste y mantenimiento [20].
- **Inversor con optimizadores de potencia:** Combinan lo mejor de los inversores string y los micro inversores, pero son ligeramente más baratos que estos últimos. Los paneles se conectan a un optimizador de potencia, mejorando la eficiencia y evitando la sensibilidad del sistema ante sombras. Los optimizadores a su vez se conectan al inversor central, ya que estos dispositivos no adaptan la corriente de las placas [20].

Las características técnicas más importantes de un inversor a la hora de diseñar una instalación solar fotovoltaica son su rango de operación, su potencia nominal, el número de seguidores de punto de máxima potencia o MPPT.

- Rango de operación: Son límites de tensión e intensidad puede operar el inversor, los paneles se deberán conectar entre sí de tal forma que el conjunto fotovoltaico sea compatible con el inversor elegido.
- Potencia nominal: Es la máxima que el inversor puede llegar a dar, la potencia pico en paneles no debe superar en más de un 30% este valor para evitar pérdidas de energía.
- Número de MPPT: Indica cuántas series o conjuntos de paneles se pueden gestionar independientemente del resto [20].

La elección del inversor dependerá de las condiciones del sistema y las distintas decisiones que serán argumentadas en el apartado siguiente.

### 3.6.1.- Elección

En esta instalación se pretende disponer de la conexión a la red eléctrica y de la presencia de acumuladores de energía. Este diseño permite verter los excedentes de la energía producida, inyectar energía de la red y acumular la energía en baterías para su posterior uso. Se escoge un inversor de tipo híbrido, buscando en el mercado un modelo de inversor de instalación sencilla y alta eficiencia que ofrezca unas buenas prestaciones con una aceptable relación calidad/precio.

El inversor SUN2000-5KTL-L1 [22], [30], fabricado por Huawei, es el dispositivo escogido para esta instalación. Es un inversor híbrido de tipo string con eficiencia del 98,6% cuya elección será argumentada en los siguientes párrafos.



Figura 3.18. Inversor SUN2000-5KTL-L1 5000W [30]

En la tabla posterior se presentan las especificaciones técnicas de este inversor:

Especificaciones técnicas	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 <sup>1</sup>
<b>Eficiencia</b>							
Eficiencia Máxima	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
Eficiencia europea	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
<b>Entrada ( FV )</b>							
Entrada de CC máxima recomendada <sup>2</sup>	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Máx. tensión de entrada	600 V <sup>3</sup>						
Tensión de arranque	100 V						
Rango de tensión de operación de MPPT	90 V – 560 V <sup>3</sup>						
Tensión nominal de entrada	360 V						
Máx. intensidad por MPPT	12.5 A						
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	18 A						
Cantidad de MPPTs	2						
Máx. número de entradas por MPPT	1						
<b>Entrada ( Batería CC )</b>							
Batería compatible	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R						
Rango de tensión de operación	350 – 450 Vcc						
Max. corriente de operación	10 A @7H_R / 15 A @10H_R						
Potencia de carga máxima	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R						
Potencia máxima de descarga @ 7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Potencia máxima de descarga @ 10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Batería compatible	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh – 30kWh <sup>1</sup>						
Rango de tensión de operación	350 – 560 Vdc						
Max. corriente de operación	15 A						
Potencia de carga máxima	5,000 W <sup>4</sup>						
Potencia máxima de descarga	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
<b>Salida</b>							
Conexión a la red eléctrica	Monofásica						
Potencia de salida nominal	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W <sup>5</sup>	6,000 W
Máx. potencia aparente de CA	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA <sup>6</sup>	5,500 VA <sup>7</sup>	6,000 VA
Tensión nominal de Salida	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz						
Máx. intensidad de salida	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A <sup>8</sup>	25 A <sup>8</sup>	27.3 A
Factor de potencia ajustable	0.8 leading ... 0.8 lagging						
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %						
Salida para SAI	Sí (a través de Backup Box-B0 <sup>1</sup> )						
<b>Protección &amp; Características</b>							
Protección anti-islal	Sí						
Protección contra polaridad inversa de CC	Sí						
Monitorización de aislamiento	Sí						
Protección contra descargas atmosféricas CC	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11						
Protección contra descargas atmosféricas CA	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11						
Monitorización de la corriente residual	Sí						
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí						
Protección contra cortocircuito de CA	Sí						
Protección contra sobretensión de CA	Sí						
Protección contra sobrecalentamiento	Sí						
Protección de falla de arco	Sí						
Carga inversa de la batería desde la red	Sí						
<b>Datos generales</b>							
Rango de temperatura de operación	-25 ~ +60 °C						
Humedad relativa de operación	0 %RH ~ 100 %RH						
Altitud de operación	0 ~ 4,000 m (disminución de la capacidad eléctrica a partir de los 2000 m)						
Ventilación	Convección natural						
Pantalla	Indicadores LED; WLAN integrado + aplicación FusionSolar						
Comunicación	RS485, WLAN a través del módulo WLAN incorporado en el inversor Ethernet a través de Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional); 4G / 3G / 2G a través de Smart Dongle-4G (Opcional)						
Peso (incluido soporte de montaje)	12.0 kg						
Dimensiones (incluido soporte de montaje)	365mm * 365mm * 156 mm						
Grado de protección	IP65						
Consumo de energía durante la noche	< 2,5 W						
<b>Compatibilidad con optimizadores</b>							
Optimizador compatible con MBUS CC	SUN2000-450W-P						
<b>Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)</b>							
Seguridad	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2						
Estándares de conexión a red eléctrica	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116						

<sup>1</sup> Disponible en Q3 del 2020.

<sup>2</sup> La potencia fotovoltaica de entrada máxima del inversor es de 10,000 Wp cuando las cadenas largas se diseñen y conecten al completo de optimizadores de potencia SUN2000-450W-P.

<sup>3</sup> El límite máximo de tensión de entrada y de operación se reducirán a 495 V cuando el inversor se conecte y funcione con la batería LG.

<sup>4</sup> 2.500 W en las baterías HUAWEI ESS de 5kWh

<sup>5</sup> AS4777.2:4.991W. <sup>6</sup> VDE-AR-N 4105:4.600VA / AS4777.2:4.999VA. <sup>7</sup> AS4777.2:4.999VA / C10/11:5.000VA. <sup>8</sup> AS4777.2:21.7A.

Tabla 3.7. Especificaciones técnicas inversor [27]

Respecto a la conexión entre los paneles solares, esta podría ser en serie o en paralelo. Se decide asociar los doce paneles de la instalación en dos grupos de seis paneles cada uno y conectar en serie a todos los paneles del mismo grupo. Esta conexión, aunque eleva la tensión de entrada del inversor, se suman las tensiones de las seis placas, siendo comprobada posteriormente y no suponiendo un problema para el diseño.

Al ser el inversor de tipo string, se coloca un solo inversor central al que irán conectados los dos ramales de paneles solares. El inconveniente de los inversores de tipo cadena respecto a las sombras no afecta excesivamente a esta instalación ya que los paneles se colocan todos juntos sobre la cubierta y poseen la misma inclinación y orientación, haciendo de este inversor una buena elección. Además, este inversor permite la colocación de optimizadores en las placas solares en caso de necesitar una mejora de la eficiencia de la instalación.

A continuación, se distingue el diagrama técnico del circuito, que muestra los distintos componentes de este dispositivo.

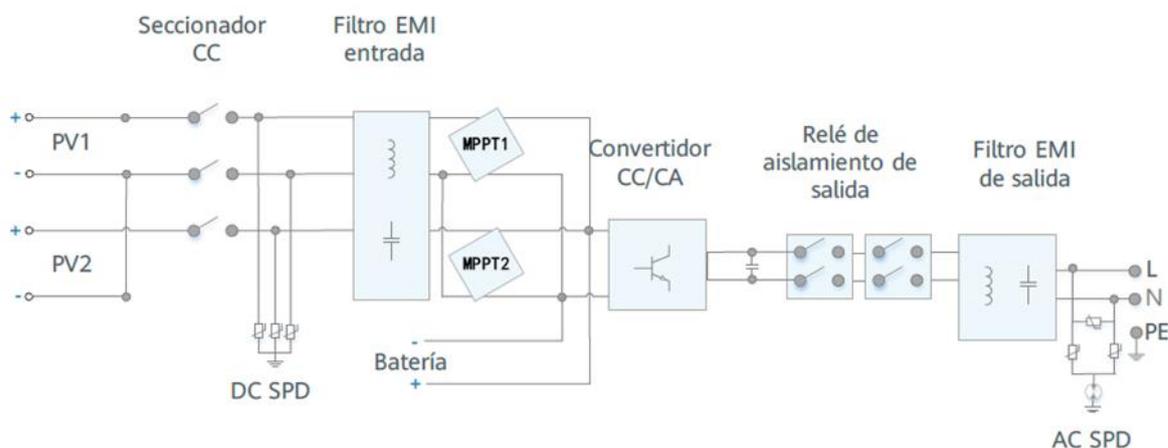


Tabla 3.8. Diagrama del circuito, inversor SUN2000-5KTL-L1 [30]

De acuerdo con la figura, este inversor posee dos canales MPPT que permiten que los dos grupos de paneles solares se conecten de forma separada al inversor y operen de forma independiente. El cometido del MPPT consiste en maximizar la energía extraída del panel solar haciendo que este trabaje en su máximo punto de potencia. En la futura instalación, todas las placas están en la misma orientación e inclinación, pero sí que pueden aparecer sombras sobre alguno de los paneles. Con este inversor se permiten formar dos grupos, estableciendo que cada grupo sea gobernado por uno de los MPPT y consiguiendo así una optimización en el funcionamiento de la instalación.

Las razones argumentadas anteriormente, unidas a la buena relación calidad/precio, eficiencia, fácil instalación, fácil mantenimiento y el posible control y medición por medio de una aplicación de móvil, hacen que esta opción sea la escogida en el diseño.

Una vez que se tiene escogido el tipo de inversor se deben comprobar sus especificaciones técnicas, Tabla 3.7, con el objetivo de garantizar la compatibilidad de estos dispositivos en la instalación. Primero se comparan las especificaciones eléctricas de los paneles con las especificaciones del inversor SUN2000-5KTL-L1.

- Conexión inversor - placas solares:

Tensión de entrada: Esta tensión corresponde a la máxima tensión de entrada que permite el inversor. El valor máximo impuesto por el inversor es de 600 [V] por lo que la suma de las tensiones  $V_{OC}$  de las seis placas que se conectan a cada ramal no debe superar este valor. Hay que tener en cuenta que esta variable es sensible a la temperatura. Se presenta una gráfica obtenida por medio del programa PVGIS, para mostrar las temperaturas de la ubicación entre los años 2005 a 2020, siendo 0,81°C la temperatura más baja registrada.

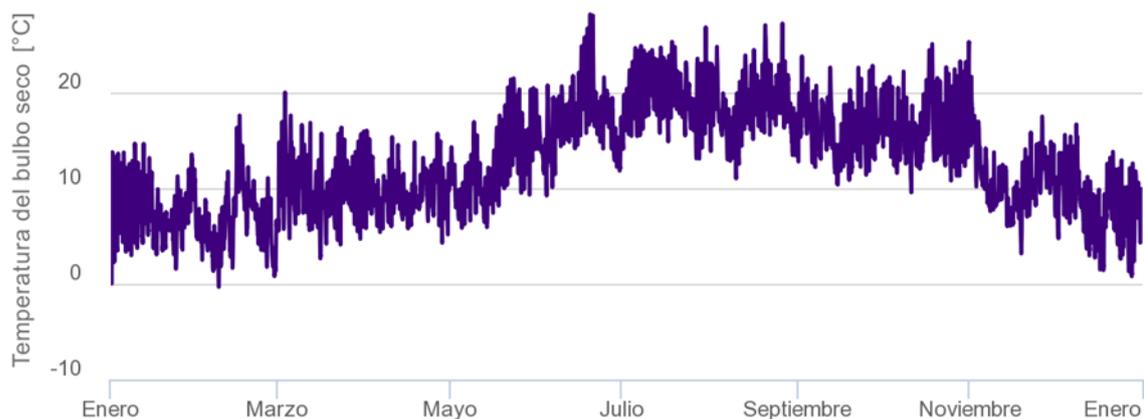


Figura 3.19. Temperatura del bulbo seco en la ubicación, 2005-2020 [4]

A continuación, se expone la comprobación realizada:

$V_{OC} = 49,85 [V]$	Tensión máxima de la placa solar, denominada tensión de circuito abierto o de vacío.
$\beta_{V_{OC}} = 0,272 [%/^{\circ}C]$	Coefficiente de temperatura de la tensión de vacío.
$T = -10 [^{\circ}C]$	A pesar de que la temperatura mínima registrada son $0,81^{\circ}C$ , los cálculos se realizan con $-10^{\circ}C$ dando un amplio margen. En el cálculo se utiliza el valor de 35 ya que la diferencia entre los $25^{\circ}C$ a los que se realizan los ensayos STC y los $-10^{\circ}C$ es de $35^{\circ}C$ .

$$49,85 - \frac{0,272 \times 49,85}{100} \times 35 = 45,10 [V] \quad (7)$$

$$45,10[V] \times 6 \text{ placas solares} = 270,6 [V] \quad (8)$$

Este valor obtenido cumple los parámetros del inversor.

Corriente de entrada: La corriente de las placas solares no es tan sensible a la temperatura como la tensión. Al estar conectados en serie, los paneles solares disponen de la misma corriente a través de ellos. Se comprueban ambas hojas de especificaciones y se llega a la conclusión de que se cumplen estos parámetros.

Como apunte final, faltaría la comprobación de compatibilidad entre el inversor y la batería realizada en el apartado correspondiente a la batería.

Como conclusión de este apartado se retrocede a la Figura 3.1, en la que se presentaba la idea inicial del proyecto, mostrando ahora la Figura 3.20, que define este circuito de una forma más precisa



Figura 3.20. Circuito eléctrico para implementar en la instalación [22], [31]

### 3.7. BATERIAS

#### 3.7.1.- Introducción

La producción solar es variable, ya que depende de la hora del día, de la época del año y de las condiciones meteorológicas. Esto hace necesaria, la utilización de acumuladores o baterías capaces de alimentar el consumo previsto de la instalación mientras dure la perturbación en la producción [3]. Son un dispositivo eléctrico que acumula la energía fotovoltaica siendo un elemento indispensable en las instalaciones de paneles solares que pretenden ser autosuficientes. Su principio de funcionamiento se basa en el proceso químico de reducción-oxidación, en el que uno de los componentes se oxida (perdiendo electrones) y el otro se reduce (ganando electrones) [20].

Existen una serie de parámetros que se deben tener en cuenta en la elección de este elemento:

- Capacidad: Es la intensidad de corriente en amperios que se puede obtener de una descarga completa del acumulador eléctrico cuando éste tiene un estado de carga total.
- Eficiencia de carga: La relación entre la energía utilizada para rellenar el acumulador y la realmente almacenada.
- Autodescarga: Un acumulador eléctrico sin estar en uso tiende a descargarse.
- Profundidad de descarga: Es la cantidad de energía que se obtiene durante una descarga estando en carga total [%] [20].

Hay una gran variedad de tipos de baterías presentes en el mercado, entre las que destacan:

- Baterías monoblock: Son las baterías más asequibles y habituales. Su tecnología se basa en la acumulación y descarga en un compuesto químico a base de plomo y ácido que emite gases, por lo que deben estar colocadas en una habitación con ventilación constante. Requieren un nivel de mantenimiento y atención mayor al de otros tipos [20].
- Baterías AGM: El funcionamiento de esta batería para el autoconsumo es bastante similar al anterior, pero poseen una malla de fibra de vidrio que permite aumentar la estabilidad y la durabilidad. Las ventajas principales son la ausencia de gases y la necesidad de menos mantenimiento que las baterías monoblock [20].

- Baterías de litio: Su aprovechamiento de la energía está muy cerca del 100% y carecen de efecto memoria, por lo que no sufren si son descargadas completamente. Su vida útil se extiende a los 20 años y aunque su precio es elevado, actualmente es la tecnología más usada [20].

### 3.7.2.- Elección

La instalación es una instalación híbrida ya que combina el uso de baterías con la conexión a la red. La empresa vendedora de los inversores recomienda la batería Huawei Luna 2000 para implantarla en la instalación [22]. A partir de esta recomendación se exponen una serie de decisiones y argumentos para comprobar si esta elección se ajusta al diseño.

Hay una gran variedad de tipos de baterías, pero la seleccionada para esta instalación pertenece al grupo de las baterías de litio. Son las baterías con mayor durabilidad del mercado, baja autodescarga, excelente respuesta frente a descargas profundas y sin efecto memoria. Son fabricadas con componentes muy ligeros que ha permitido formar acumuladores pequeños, de varias formas, ligeros y con rendimientos mucho más altos que las baterías convencionales [20].

Una vez seleccionadas las baterías de litio como buena opción se presenta el modelo escogido, Huawei Luna 2000. Este modelo es uno de los más utilizados en instalaciones fotovoltaicas, contando con una capacidad de descarga del 100% y siendo divididas en módulos, permitiendo garantizar la independencia entre módulos ante un posible fallo. Su proceso de carga y descarga es programable para adaptarlo a las necesidades de la instalación [20].



Figura 3.21. Batería Huawei Luna 2000 con módulo de 5kWh y BMS [32]

Esta batería tiene la gran ventaja de estar dividida en módulos. Cada módulo tiene una capacidad de acumulación energética de 5 kWh, permitiendo el acople simultáneo de tres módulos aumentando la capacidad a 15 kWh. En la instalación diseñada será suficiente

con uno de los módulos, aunque esta característica de la batería posibilitaría realizar aumentaciones en la instalación.

La batería usada se compone de un módulo acumulador de 5kWh y de un controlador o BMS en su parte superior que actúa de interfaz entre el módulo acumulador y el inversor, gestionando la administración de la carga y de la descarga de la batería [31].

Las baterías Huawei Luna2000 tienen las siguientes especificaciones eléctricas básicas:

	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Technical Specification			

	Performance		
Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module energy	5 kWh		
Number of battery Modules	1	2	3
Battery usable energy <sup>1</sup>	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10 s	7 kW, 10 s	7 kW, 10 s
Nominal voltage (single phase system)	360 V		
Operating voltage range (single phase system)	350 – 560 V		
Nominal voltage (three phase system)	600 V		
Operating voltage range (three phase system)	600 – 980 V		

Figura 3.22. Especificaciones eléctricas distintos módulos batería Huawei Luna2000[32]

Se quiere comprobar si es óptima la batería escogida para dotar a la instalación de la energía necesaria para satisfacer los servicios propuestos, y conocer el tiempo que permitiría a la instalación ser autosuficiente en caso de ausencia de producción solar y un corte de la red eléctrica. Se compara el consumo de la instalación con la capacidad de acumulación del dispositivo.

$$\text{CONSUMO DIARIO INSTALACIÓN} = \frac{6 \text{ kWh}}{\text{dia}} \quad (9)$$

$$\text{ENERGÍA UTIL BATERIA} = 5 \text{ kWh} \quad (10)$$

$$\frac{6 \text{ kWh}}{\text{dia}} \times \frac{\text{dia}}{24 \text{ h}} = 250 \text{ W} \quad \frac{5000 \text{ Wh}}{250 \text{ W}} = 20 \text{ horas} \quad (11)$$

La instalación podría mantener el consumo de la carga durante 20 horas, suponiendo que la batería está cargada al 100 %, la producción solar está parada y hay un corte eléctrico en la red. Esta situación es poco probable ya que los cortes de suministro de la red eléctrica no son tan prolongados.

Respecto a la compatibilidad entre el inversor y la batería, se debe mencionar que se cumplen los parámetros eléctricos de entrada en el inversor. Se ha escogido un inversor SUN2000-5KTL-L1 de 5000 W de potencia máxima de descarga. Este valor de potencia está relacionado con la batería y esta elección se debe a la comprobación realizada en la ecuación 11 que garantiza el autoconsumo por parte de la batería durante 20 horas bajo las condiciones especificadas.

Se llega a la conclusión de que la elección de esta batería es una buena solución para el diseño. Destacando su elevada eficiencia, la compatibilidad dada con el inversor, el poco mantenimiento que requiere y la capacidad de adaptarse a posibles ampliaciones [22].

Finalmente, un aspecto a tener en cuenta corresponde con la ubicación de las baterías. La batería escogida deberá instalarse en el suelo ya que tiene un peso elevado de 63,8 kg sumando el módulo acumulador y el controlador BMS [33]. Esta selección de la ubicación, planteada como trabajo futuro, debe buscar un sitio estanco que garantice la seguridad del dispositivo y su protección frente a la lluvia y al vandalismo, asegurando además una buena ventilación del equipo. Se busca un diseño integrador con el entrono o enterrándola en el suelo, decidiendo la mejor zona la instalación, guardando una distancia de seguridad con la zona interior de la marquesina.

### **3.8. OTROS ELEMENTOS**

Entre los demás elementos que se pueden incluir en el circuito destacan los de control, conexiones, cableado, monitorización y protección. Estos elementos no se han tenido en cuenta en el diseño y se recogen en los posibles trabajos futuros a realizar.

Se destaca la incorporación de interruptores magnetotérmicos y diferenciales para garantizar la seguridad en la instalación, así como una serie de medidores que permiten llevar un control instantáneo de la instalación, verificando el cumplimiento de los límites de funcionamiento e informando acerca de los datos de producción energética de la instalación.

### 3.9. POSIBLES USOS DE LOS EXCEDENTES ENERGETICOS.

Los resultados referidos a la producción energética mensual y al consumo mensual de la instalación son mostrados gráficamente en la Figura 3.16 y Figura 3.17. A partir de estos datos se realiza una comparación entre ambas variables a lo largo de un año, Figura 3.23.

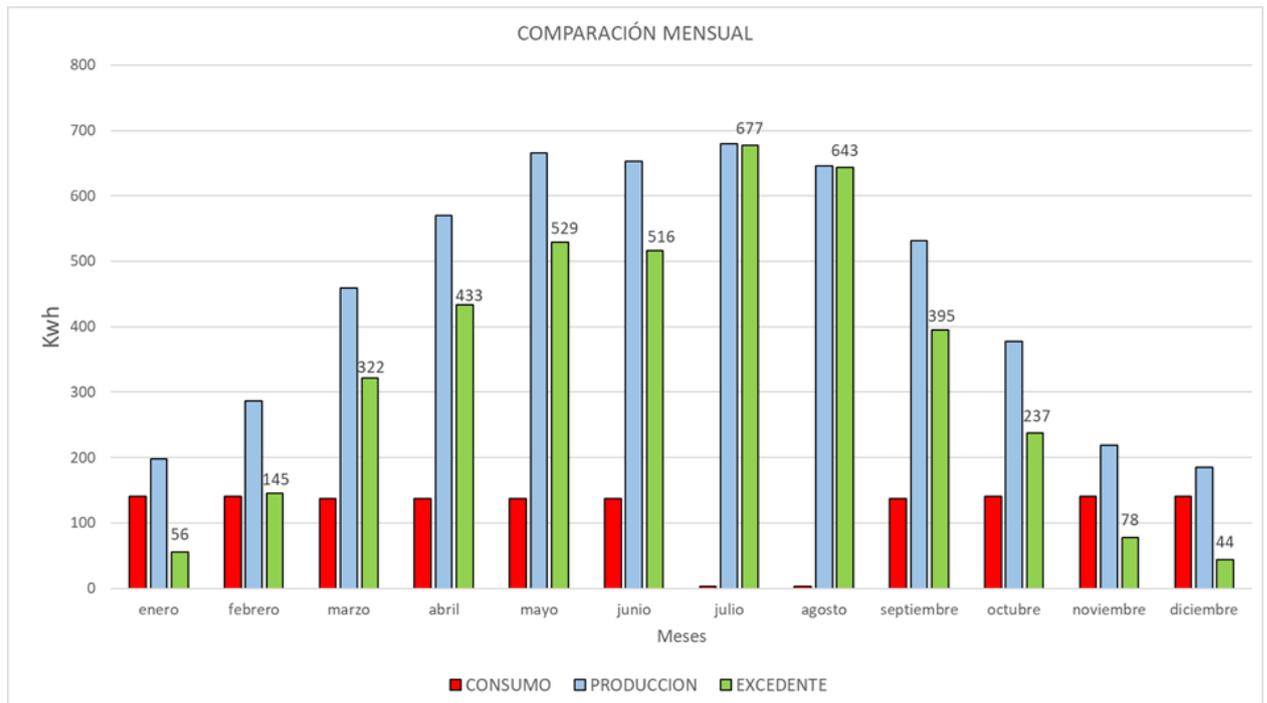


Figura 3.23. Comparación mensual consumo y producción.

En esta comparación se descubre una nueva variable añadida, denominada Excedente cuyo cálculo es el siguiente:

$$\text{EXCEDENTE ENERGÉTICO} = \text{PRODUCCIÓN} - \text{CONSUMO} \quad (7)$$

Analizando esta variable, se percibe que todos los meses del año, según los cálculos del estudio, presentan un excedente energético. Este excedente es muy reducido en los meses del periodo de invierno ya que en estos meses es cuando la producción solar baja y se presenta un mayor consumo de la carga de la instalación. Al no haber carencia energética en este periodo crítico, fase de mayor consumo del año, la infraestructura no necesitará abastecerse de la red ya que con la energía generada por las placas solares será suficiente.

A pesar de esto la instalación se encontrará en todo momento conectada a la red con el objetivo de hacer frente a la posible disminución de la producción solar, debido a las condiciones meteorológicas, fallos del sistema de generación o de acumulación, y a la aparición puntual de picos en el uso de los dispositivos pertenecientes a la carga de la instalación. Por otro lado, en el periodo estándar, el consumo estimado es similar al producido en invierno, pero en este caso, la producción solar crece y se dispone de una mayor cantidad de energía sobrante. En el último periodo, periodo de verano, el consumo es muy reducido ya que la marquesina permanece “apagada” y la producción en estos meses aumenta considerablemente por lo que la diferencia entre ambas, el excedente energético, es el más elevado de los tres periodos.

El uso principal de la energía generada por la instalación es nutrir a los receptores de la carga, aunque como se ha analizado, se contemplan una serie de excedentes energéticos para tener en cuenta. Se propone una serie de posibles usos de esta energía excedente para garantizar el aprovechamiento de toda la energía generada y el fomento del ahorro energético, entre los que destacan su vertido a red, obteniendo una retribución económica a cambio de ello, el abastecimiento a otras infraestructuras del campus y la incorporación de nuevos servicios no planteados en el diseño inicial pero que cumplan los parámetros del diseño.

Teniendo en cuenta una retribución económica por la energía excedente, se analiza la rentabilidad del proyecto, mediante son herramientas financieras. Estos indicadores son:

- Valor Actual Neto (VAN): Mide la rentabilidad de la inversión. Si el resultado de este indicador es positivo, la inversión es rentable
- Tasa Interna de Retorno (TIR): Calcula la tasa de retorno (rentabilidad) que generará una inversión
- Plazo de Recuperación (PAY-BACK): Determina el plazo que demorará una empresa en recuperar el capital que invertirá en un proyecto.

Inversión inicial	Se tiene en cuenta la inversión respecto a los equipos que forman parte de la instalación fotovoltaica (dispositivos, inversor, placas y batería).	9.532 €
Beneficios estimados	Se realiza una estimación de la retribución obtenida a cambio de la venta del excedente energético (0,20 € por cada kWh vendido). Se suma el excedente energético de todos los meses y se multiplica por el precio estimado del kWh.	815 €/año
TIEMPO	Se estima en 25 años el periodo en el que la todos los elementos de la instalación funcionaran en condiciones óptimas.	25 años

<b>VAN</b>	4.659,72
<b>TIR</b>	6,96%
<b>Pay-back</b>	14,6 años

Se concluye por medio de este análisis, inversión rentable al obtener un VAN > 0, con una tasa de retorno del 6, 96 % y estableciendo un periodo de recuperación de la inversión de 14 años y medio.

## 4. Simulación de estructura metálica de la marquesina

En este capítulo, se exponen todos los trabajos relacionados con la simulación del diseño de la estructura metálica de la marquesina diseñada para soportar los esfuerzos provocados por las placas solares según lo establecido en el CTE [34].

Se busca diseñar una estructura similar a la actual, cumpliendo las nuevas combinaciones de carga aportadas. Se escogen las soluciones comerciales para la estructura soporte de las placas solares y para la cubierta argumentando los motivos de esta elección, sin analizar la instalación de estos elementos ni la comprobación de rotura de estos dos elementos. Por otro lado, se diseña una solución estructural de la marquesina a partir de barras metálicas por medio de un programa de cálculo estructural realizando las pertinentes comprobaciones estructurales de acuerdo con el CTE. La nueva estructura de la marquesina será algo mayor que la actual, mejorando la comodidad y la accesibilidad.

*Dimensiones de la futura marquesina = 14 m x 2,5 m x 2,5 m*

### 4.1. ESTRUCTURA SOPORTE DE PLACAS SOLARES

En apartados anteriores se diseña la orientación y posición de las placas solares que mejor se amolda a lo buscado en el proyecto. Una vez realizados los pasos anteriores se analiza el mercado para encontrar una solución comercial que sirva de soporte y sujeción de los módulos solares sobre la cubierta de la marquesina.

Inicialmente, antes de realizar los estudios PVGIS del apartado 3.4.3.-, se había buscado una estructura de tipo triangulo que iría apoyada sobre la cubierta, dando a las placas la inclinación deseada por el usuario. Esta estructura, de la empresa Gonvarri Steel, es la solución más sencilla para sistemas inclinados, fabricada en aluminio, se aplica a todo tipo de placas solares de diversos tipos y dimensiones, teniendo unas notables características destacando la durabilidad, resistencia ligereza y facilidad en el montaje [32].

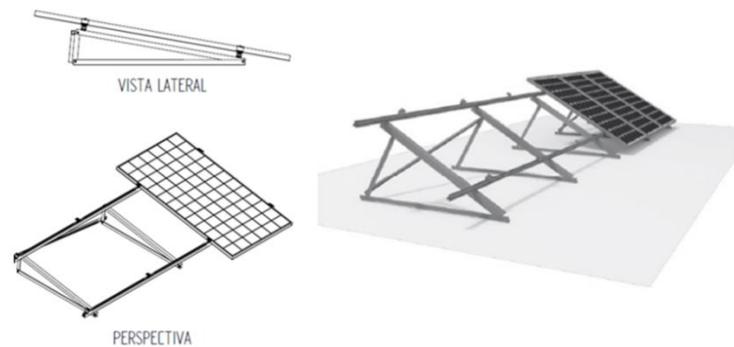


Figura 4.1. Diferentes vistas de sistema inclinado propuesta inicial[35], [36]

Una vez realizados los estudios del apartado 3.4.3.-, se llegó a la conclusión de que la inclinación más favorable para la instalación era  $0^\circ$ , siendo rechazada la opción escogida inicialmente ya que sería suficiente con una estructura más simple con el objetivo de colocar las placas de forma coplanar con la nueva cubierta.

Sim embargo teniendo en cuenta las regulaciones expuestas en el CTE [34] respecto a la inclinación de la cubierta se decide otorgarle al techo un valor de  $5^\circ$ , permitiendo a esta cubierta a un agua un buen alivio ante las precipitaciones.

El concepto buscado cambia, siendo ahora un soporte coplanar con las placas la idea explorada. Se escoge una nueva solución comercial, Estructura de 6 Paneles 30-45mm Coplanar Falcat proporcionada por la empresa Alcat Structures. Esta estructura fabricada con perfilería aluminio y acero inoxidable está diseñada para soportar cargas de nieve de hasta 50 cm y una velocidad del viento de unos 45 m/s [37].

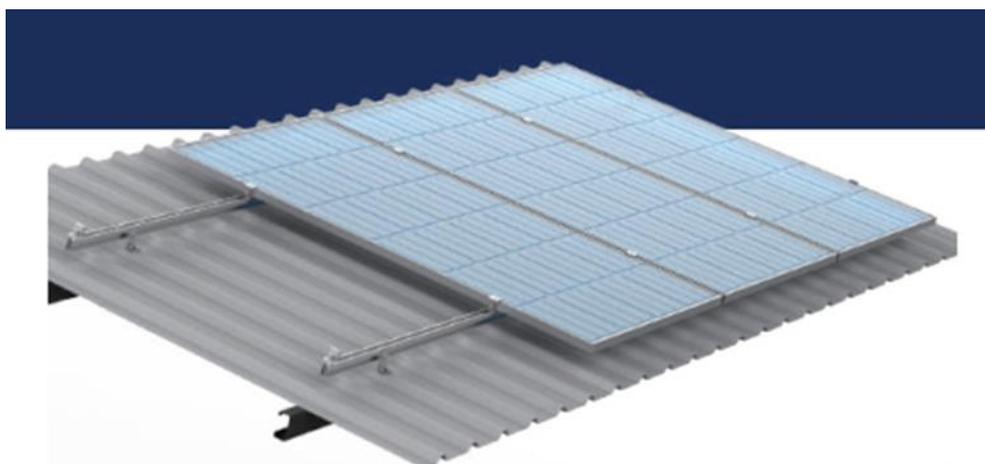


Figura 4.2. Estructura 6 Paneles 30-45mm Coplanar Falcat [38]

Es un soporte para poder situar seis paneles solares sobre la cubierta, por lo que se adquieren dos soportes de este tipo sobre la cubierta para sustentar las doce placas de la instalación. Los paneles se colocan verticalmente sobre la estructura teniendo esta la misma inclinación que la superficie a la que se instala. Además, la estructura está pensada para paneles de cualquier longitud, siendo, además, un tipo de estructura perfecta para techos de panel de sándwich, cubierta que se instalará y será explicada en el apartado siguiente. [37] El fabricante suministra las fijaciones entre placa y estructura, explicando su fácil método de montaje y todos los componentes usados[39].



Figura 4.3. Proceso de montaje de la estructura soporte [37]

## 4.2. CUBIERTA

En este proyecto la cubierta de la marquesina no solo tiene la función de resguardar a los usuarios de la marquesina, sino también debe servir de superficie de anclaje a las placas solares, por medio de la estructura soporte antes mencionada. Para esta función se ha escogido una cubierta tipo sándwich ideal para este tipo de aplicaciones y que será instalada sobre la estructura de barras de la marquesina y tendrá una inclinación de 5°.



Figura 4.4. Cubierta de la marquesina a partir de panel Sándwich [40]

El Panel Sándwich Cubierta Tapajuntas está formado por dos chapas de acero galvanizado, prelacado y perfilado, en medio de las cuales se encuentra un núcleo aislante de poliuretano inyectado de 40 kg/m<sup>3</sup> y 30 mm de espesor. Este panel tiene la cualidad de resistir el viento y comportarse mejor ante situaciones adversas de lluvia, humedad y frío, sobre todo porque incorpora un remate de acero que se coloca encima de las juntas una vez atornillando los paneles a la estructura. Este accesorio de acero es el denominado Tapajuntas y le da a toda la cubierta un extra de seguridad ante filtraciones de agua o pequeñas desviaciones en la colocación[41].

Posee una gran resistencia mecánica para ser autoportante y seguro con correas o puntos de apoyo a 1,75 o 2 m.

La cubierta de la marquesina será revestida en su totalidad por este material, necesiéndose disponer de una cantidad de 35 m<sup>2</sup> del panel sándwich de estas características.

### 4.3. ESTRUCTURA METÁLICA. MARQUESINA

En este apartado se explica la simulación de la nueva estructura metálica de barras de la marquesina por medio del software de cálculo estructural por elementos finitos denominado RFEM 6.

Las estructuras de barras son un tipo de estructura compuesta por elementos lineales, como vigas y columnas, que se conectan mediante uniones articuladas. Estas estructuras se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo puentes, torres de telecomunicaciones, grúas y mucho más. El diseño de una estructura de barras requiere una comprensión detallada de la mecánica de materiales y la resistencia de materiales, así como un conocimiento de las cargas y las condiciones ambientales a las que estará expuesta la estructura. Es importante seleccionar materiales adecuados y dimensionar adecuadamente las barras y las uniones para asegurar la seguridad y la fiabilidad de la estructura.[42]

En la actualidad, estos problemas complejos estructurales se realizan gracias a los programas informáticos que aplican métodos de elementos finitos (MEF). Estos procedimientos numéricos proporcionan una solución aproximada al problema real analizado, empleando para ello unos recursos de tiempo y esfuerzo computacional razonables [43].

En este proyecto se utiliza s un software de análisis y diseño estructural desarrollado por la empresa alemana Dlubal Software, denominado RFEM 6. Este programa permite modelar, analizar y diseñar estructuras complejas en un entorno de usuario intuitivo. RFEM 6 incluye una amplia gama de herramientas para el modelado de estructuras de acero, hormigón, madera y otros materiales. Además, también ofrece una gran cantidad de opciones de análisis, incluyendo análisis estático y dinámico, análisis de esfuerzos y deformaciones, y análisis de frecuencia natural. Estas funciones permiten a los ingenieros y arquitectos evaluar la seguridad y la viabilidad de sus diseños antes de la construcción [44].

Existen gran variedad de programas de cálculo estructural por elementos finitos, pero este ha sido el escogido debido a su facilidad de uso y que integra un gran paquete de normas y códigos estructurales que el usuario define para que el programa realice todos los cálculos de tensiones, deformaciones y límites de funcionamiento de la estructura en cuestión, aportando al finalizar todos estos, informes y tablas con los resultados.

Respecto a la normativa usada en la simulación, para dimensionar la estructura se actúa según lo dispuesto en el Código técnico de Edificación, CTE DB-SE:2009-04 [45] y CTE DB-SE-AE:2009-04 [46], basando los cálculos relativos al cálculo de acero en la EN 1993 [47] y el anejo nacional UNE | 2016-02 [48].

En la siguiente tabla se aportan la totalidad de las normas usadas por el programa en todos los procesos de cálculo.

CTE DB-SE:2009-04
CTE DB-SE-AE:2009-04
UNE-EN 1993-1-1:2013
UNE-EN 1993-1-1:2013/A1:2014
AN/UNE-EN 1993-1-1:2013
UNE-EN 1993-1-2:2016
UNE-EN 1993-1-3:2012
UNE-EN 1993-1-4:2012
UNE-EN 1993-1-5:2013
AN/UNE-EN 1993-1-5:2013
UNE-EN 1993-1-8:2013
AN/UNE-EN 1993-1-8:2013

Tabla 4.1. Normativa activada en software RFEM

Se debe realizar una configuración previa del software, dimensionar la estructura objeto del estudio y posteriormente se realizan los análisis estructurales. Estos análisis serán por un lado un análisis estático geométrico lineal de primer orden de toda la estructura de barras para obtener todas las tensiones y deformaciones aplicadas, sin superar los límites permitidos por el material; y por otro lado se realiza un análisis del acero, es decir, la comprobación del cumplimiento de los estados límite de servicio de uso para garantizar el correcto funcionamiento y diseño de la nueva marquesina convirtiéndola en un lugar seguro y satisfaciendo todas las obligaciones impuestas por la norma.

#### 4.3.1.- Material y sección

El material escogido es un acero S235 JR, acero no aleado de bajo contenido en carbono. Es un acero de calidad estructural que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, destacando las caracterizadas por un bajo requisito de impacto y deformación plástica. Usado comúnmente en estructuras de construcción y fabricación de piezas de maquinaria ligera. Es importante destacar que las propiedades y características pueden variar según el proceso de producción y los requisitos específicos del fabricante o del usuario

final[49][50]. Las propiedades del acero escogido se presentan en la Tabla 7.5, incluida en el Anexo IV

Respecto a las barras de acero de la estructura, todas tendrán la misma sección. Se escoge una un perfil hueco de sección cuadrada, debido a la ligereza, reducción de costes y alta resistencia y durabilidad que aporta este tipo de perfil a la estructura. Dentro de la biblioteca del programa se busca un perfil de este tipo que se amolde mejor al diseño y entre los presentes se opta por un perfil Celsius 355 SHS 100x100x10, laminado en caliente y fabricado por la empresa india, Tata Steel, cuyas características se visualizan en el Anexo IV.

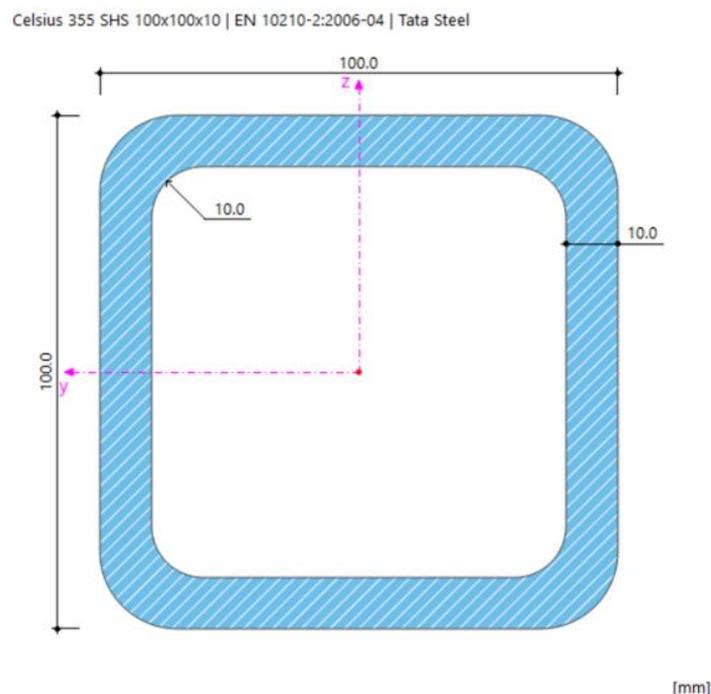


Tabla 4.2. Sección Celsius 355 SHS 100x100x10[44]

#### 4.3.2.- Estructura de barras

La estructura simulada, como se menciona en la introducción del apartado, es una estructura de barras. Para diseñarla por medio del programa se sigue el siguiente proceso:

- 1) Colocación de todos los nudos de la estructura, programando los nudos inferiores como apoyos fijos articulados.
- 2) Unión de los nudos por medio de líneas.
- 3) Conversión de líneas en barras del material y sección específica.

Estos pasos dan lugar a la estructura de barras diseñada, similar a la marquesina actual, pero con ligeras variaciones para soportar los nuevos esfuerzos. Se introduce en los tipos de apoyos, apoyos articulados fijos, y el programa define correctamente la estructura a diseñar de la futura marquesina.

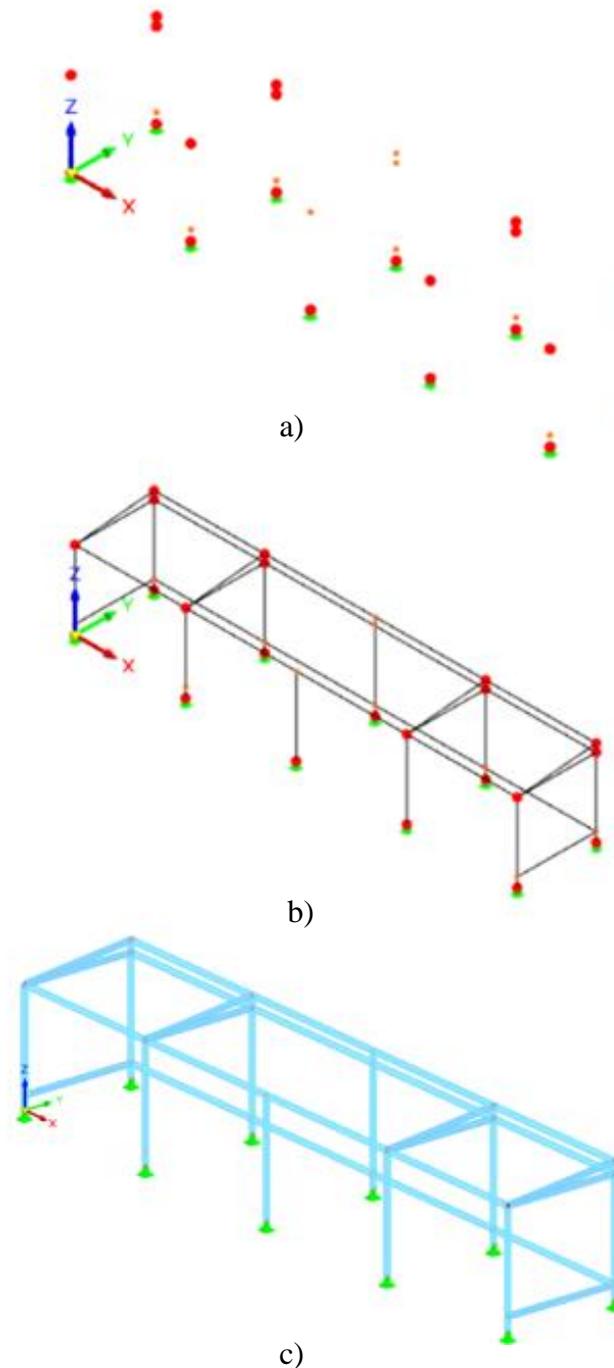


Figura 4.5. cronología construcción estructura en RFEM. a) nudos, b) líneas, c) barras [44]

### 4.3.3.- Casos de carga analizados

En este apartado se explica la definición de las cargas actuantes sobre la marquesina, acudiendo al CTE, en su apartado DB-SE-AE: Acciones en la Edificación [34]. La gran ventaja del uso del programa RFEM 6 consiste en que el propio programa ya tiene introducidas las distintas situaciones de proyecto y combinaciones de carga recogidas por la norma y el usuario solo debe introducir una serie de parámetros acerca de las cargas y el programa realizara todo el cálculo.

Los casos de carga introducidos por el usuario son el peso propio de la estructura, el peso de la cubierta, el peso de las placas, la sobrecarga de nieve y de viento, realizando un análisis estático geométrico lineal. Los valores correspondientes a estas acciones son aportados por el propio programa a excepción de la cubierta y las placas cuyo peso [N] es introducido por el usuario.

Caso de carga	Nombre	Resolver	Tipo de análisis	Configuración del análisis estático	Categoría de acción para CTE DB-SE   CTE DB-SE   2009-04
CC1	Peso propio	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Permanente - peso propio, peso propio del suelo
CC2	Cubierta	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Permanente - peso propio, peso propio del suelo
CC3	Placas solares	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Permanente - peso propio, peso propio del suelo
CC6	Nieve	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Cargas de nieve/hielo - H <= 1000 m
CC7	Viento muro 1	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Viento
CC8	Viento muro 2	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Viento
CC9	Viento muro 3	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Viento
CC10	Viento muro 4	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Viento
CC11	Viento muro 1-	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Viento
CC12	Viento muro 2-	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Viento
CC13	Viento muro 3 -	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Viento
CC14	Viento muro4-	+	Análisis estático	AE1 - Geométricamente lineal	Viento

Tabla 4.3. Casos de carga [44]

Estos casos de carga pueden verse de una forma gráfica, en las tres figuras siguientes, que muestra los casos CC3, CC6 y CC7 como ejemplos visuales de las cargas que soporta la marquesina.

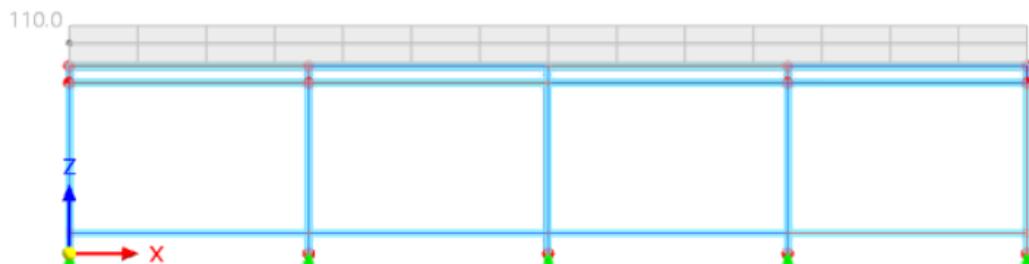


Figura 4.6. Caso de carga placas solares, CC3 en RFEM [44]

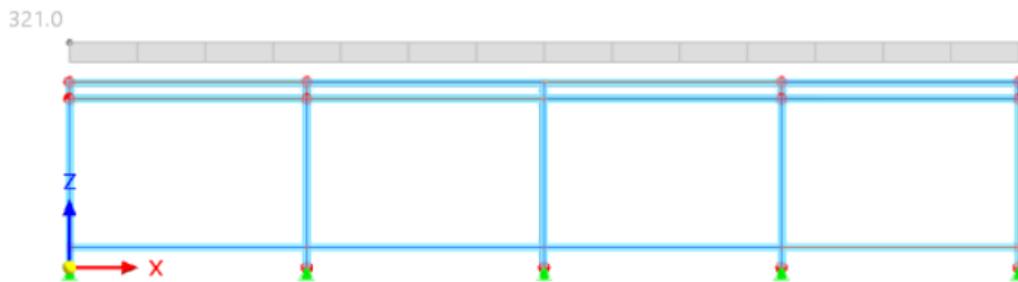


Figura 4.7 Caso de carga de nieves, CC6 en RFEM [44]

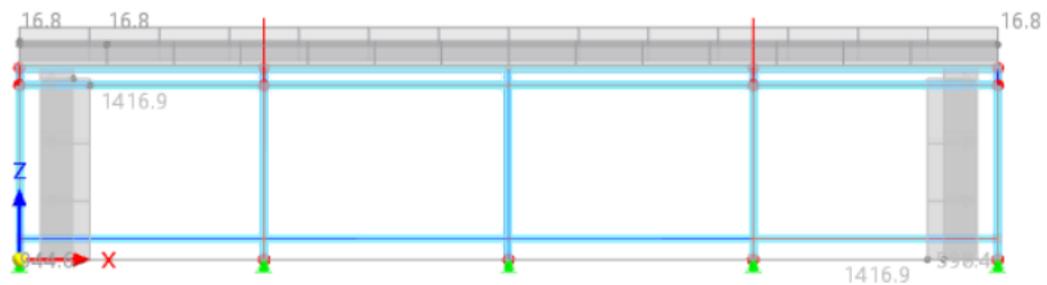


Figura 4.8. Caso de carga viento muro 1, CC7 en RFEM [44]

#### 4.3.4.- Situaciones de carga, combinaciones y cálculo

Antes de la obtención de los resultados, el cálculo de las tensiones y deformaciones en la estructura, se aportan las situaciones de proyecto definidas por el programa RFEM 6, presentes en la estructura, en base a lo establecido por el CTE.

Estas situaciones de proyecto son las siguientes:

Situac. de proy.	Nombre	Activa	Tipo de situación de proyecto para CTE DB-SE   CTE DB-SE   2009-04	Aistente para combinaciones
SP1	ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	+	ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10	2
SP2	ELS - Característica	+	ELS - Característica	2
SP3	ELS - Frecuente	+	ELS - Frecuente	2
SP4	ELS - Cuasipermanente	+	ELS - Cuasipermanente	2

Tabla 4.4. Situaciones de proyecto en RFEM [44]

A continuación, se incluyen las ecuaciones de las situaciones del proyecto tenidas en cuenta para el cálculo.

CTE DB-SE | CTE DB-SE | 2009-04  
ELU (STR/GEO) - Permanente y transitoria - Ec. 6.10

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- $\gamma_{G,j}$  : Coeficiente parcial para acciones permanentes
- $G_{k,j}$  : Acciones permanentes
- $\gamma_P$  : Coeficiente parcial para acciones de pretensado
- $P$  : Acción de pretensado
- $\gamma_{Q,1}$  : Coeficiente parcial para acción variable predominante
- $Q_{k,1}$  : Acción variable predominante
- $\gamma_{Q,i}$  : Coeficiente parcial para acciones variables no predominantes
- $\psi_{0,i}$  : Coeficiente para valor de combinación
- $Q_{k,i}$  : Otras acciones variables

Figura 4.9. Situación de proyecto uno según los dispuesto en CTE DB-SE [46]

CTE DB-SE | CTE DB-SE | 2009-04  
ELS - Característica

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- $G_{k,j}$  : Acciones permanentes
- $P$  : Acción de pretensado
- $Q_{k,1}$  : Acción variable predominante
- $\psi_{0,i}$  : Coeficient para valor de combinación
- $Q_{k,i}$  : Otras acciones variables

Figura 4.10. Situación de proyecto dos según los dispuesto en CTE DB-SE [46].

CTE DB-SE | CTE DB-SE | 2009-04  
ELS - Frecuente

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- $G_{k,j}$  : Acciones permanentes
- $P$  : Acción de pretensado
- $\psi_{1,1}$  : Coeficiente para valor frecuente
- $Q_{k,1}$  : Acción variable predominante
- $\psi_{2,i}$  : Coeficiente para valor cuasipermanente
- $Q_{k,i}$  : Otras acciones variables

Figura 4.11. Situación de proyecto tres según los dispuesto en CTE DB-SE [46]

CTE DB-SE | CTE DB-SE | 2009-04  
ELS - Cuasipermanente

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$  : Acciones permanentes  
 $P$  : Acción de pretensado  
 $\psi_{2,i}$  : Coeficiente para valor cuasipermanente  
 $Q_{k,i}$  : Acciones variables

Figura 4.12. Situación de proyecto cuatro según lo dispuesto en CTE DB-SE[46]

Al tratarse de un programa de cálculo estructural basado en MEF, se debe generar una malla antes de generar el cálculo.

A partir de todos los datos aportados y lo establecido en el CTE, el programa crea 19 combinaciones de acciones y 63 combinaciones de carga, para garantizar la correcta comprobación estructural de la marquesina.

#### 4.3.5.- Resultados del análisis estático y de acero

Se programan dos casos de estudio, un análisis estático geométrico lineal de la estructura de barras y un análisis del acero. En la tabla, se presenta un resumen de los parámetros que analiza el programa para el estudio.

Casos de carga	12
Acciones	3
Situaciones de proyecto	4
Combinaciones de acciones	19
Combinaciones de carga	63

Tabla 4.5. Resumen parámetros RFEM 6 [44]

Una vez realizado el cálculo, el software aporta un informe detallado de todas las combinaciones expuestas de cargas sobre todas las barras de la estructura dando una lista de datos muy extensa. El deber del usuario es comprobar que no hay ningún caso crítico en ninguno de los análisis, y en el caso de haberlo tomar las decisiones pertinentes en cuanto a su solución ya sea un rediseño de la estructura o cambio de la sección del material.

Para la visualización de los resultados, el programa RFEM 6, aporta el informe completo y preciso de todos los cálculos desarrollados, aunque en esta memoria se van a mostrar unos ejemplos de estos resultados que han servido para la comprobación final de cumplimiento operativo de la estructura.

- RESULTADOS ANALISIS ESTÁTICO.

El programa realiza un análisis estático geométrico lineal de primer orden sobre todas las barras de la estructura aportando las deformaciones en todas direcciones y todas las tensiones, normales y tangenciales. Para la comprobación, se debe asegurar que la tensión equivalente de Von Mises presente en cada barra no supera el valor de 235 MPa, correspondiente al límite elástico del material.

A modo de ejemplo, en la figura, se muestra una representación por isosuperficies que permite ver las zonas más tensionadas del caso CC3, correspondiente a las placas solares. Analizando el gráfico de tensiones, el máximo se aplica en las uniones de la cubierta y se comprueba que este valor es muy inferior al valor último del material.

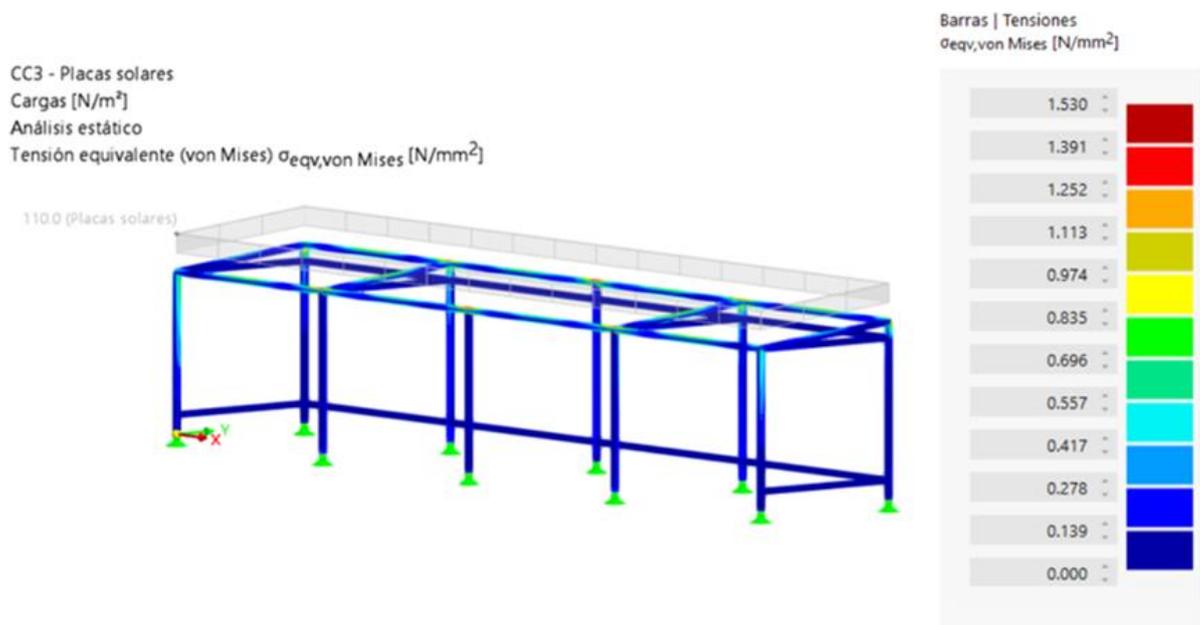


Figura 4.13. Análisis estático CC3, tensión equivalente de Von Misses[44]

Este análisis lo realiza el programa de una forma automática, aunque el usuario lo puede realizar gráficamente gracias a los diagramas de resultados. Después de comprobar todas las barras con todos los casos y combinaciones propuestos se llega a la conclusión de que la estructura cumple.

- RESULTADOS ANALISIS DE ACERO

Por otra parte, en este análisis se realiza un cálculo del acero de acuerdo con lo expuesto en la norma en 1993 UNE 2016-02 [47]. Se muestra una tabla que muestra los resultados de este análisis aportado por el programa RFEM 6, mostrando las distintas comprobaciones y demostrando el cumplimiento de estas.

Complemento de cálculo	Tipo de objeto	Objetos núm.	Posición [m]	Situación de proyecto	Carga núm.	Relación de comprobaciones de diseño $\eta$ [--]	
Cálculo de acero	Barra	11,13	x: 0.000	SP1	CO16	0.626	✓
Cálculo de acero	Barra	13	x: 1.100	SP2	CO42	0.468	✓
Cálculo de acero	Barra	11,13	x: 0.000	SP1	CO15	0.334	✓
Cálculo de acero	Barra	11,13	x: 0.000	SP1	CO16	0.296	✓
Cálculo de acero	Barra	9,16	x: 0.000	SP1	CO7	0.188	✓
Cálculo de acero	Barra	20,22	x: 0.000	SP1	CO16	0.144	✓
Cálculo de acero	Barra	32	x: 0.000	SP1	CO23	0.122	✓
Cálculo de acero	Barra	27,31	x: 0.942	SP2	CO42	0.107	✓
Cálculo de acero	Barra	3	x: 0.000	SP1	CO18	0.070	✓
Cálculo de acero	Barra	26,34	x: 0.000	SP1	CO12	0.058	✓
Cálculo de acero	Barra	2,4	x: 3.500	SP1	CO2	0.052	✓
Cálculo de acero	Barra	30	x: 3.500	SP1	CO2	0.052	✓
Cálculo de acero	Barra	19,23	x: 0.000	SP1	CO16	0.042	✓
Cálculo de acero	Barra	19	x: 2.500	SP1	CO19	0.038	✓
Cálculo de acero	Barra	27,31	x: 0.000	SP1	CO23	0.035	✓
Cálculo de acero	Barra	17,18	x: 0.000	SP1	CO24	0.033	✓
Cálculo de acero	Barra	1-20,22,23,25-40	x: 0.000	SP2	CO27	0.000	✓

Tipo de comprobación de diseño	Descripción
SP6100.00	Comprobación de la sección   Tensión normal y tangencial según 6.2.1(5)   Cálculo elástico
SE1200.00	Estado límite de servicio   Flechas en dirección y
SP6500.03	Comprobación de la sección   Flexión respecto al eje z, esfuerzo axil y cortante según 6.2.9.1 y 6.2.10   Cálculo plástico
SP6500.01	Comprobación de la sección   Flexión biaxial, esfuerzo axil y cortante según 6.2.9.1 y 6.2.10   Cálculo plástico
SP5100.03	Comprobación de la sección   Flexión respecto al eje z según 6.2.5   Cálculo plástico
SP2100.01	Comprobación de la sección   Torsión según 6.2.7
SP3200.01	Comprobación de la sección   Cortante en el eje y y torsión según 6.2.7(9)   Cálculo plástico
SE1100.00	Estado límite de servicio   Flechas en dirección z
SP6500.04	Comprobación de la sección   Flexión biaxial y cortante según 6.2.9.1 y 6.2.10   Cálculo plástico
SP3200.02	Comprobación de la sección   Cortante en el eje y según 6.2.6(2)   Cálculo plástico
SP4100.03	Comprobación de la sección   Flexión respecto al eje y según 6.2.5   Cálculo plástico
SP6500.02	Comprobación de la sección   Flexión respecto al eje y, esfuerzo axil y cortante según 6.2.9.1 y 6.2.10   Cálculo plástico
SP3100.02	Comprobación de la sección   Cortante en el eje z según 6.2.6(2)   Cálculo plástico
SP3100.01	Comprobación de la sección   Cortante en el eje z y torsión según 6.2.7(9)   Cálculo plástico
SP1200.00	Comprobación de la sección   Compresión según 6.2.4
SP1100.00	Comprobación de la sección   Tracción según 6.2.3
SE0100.00	Estado límite de servicio   Flechas insignificantes

Figura 4.14. Comprobación de todas las barras de la estructura, RFEM 6 [44]

Se analiza toda la estructura y basándose en los datos aportados por el programa RFEM 6 en ambos análisis se llega a la determinación de que la futura estructura propuesta para la nueva marquesina está bien dimensionada y cumple los parámetros de servicio y funcionamiento

La figura inferior es una representación fotorrealista de la nueva estructura diseñada para la marquesina y serviría para concluir el estudio realizado a través de este software de cálculo estructural.



Figura 4.15. Representación de la estructura final comprobada de la futura marquesina[44]

## 5. Presupuesto estimado

<b>COSTE DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS</b>		
Dispositivos	Se incluyen todos los dispositivos que forman la carga del sistema [ver Tabla 3.4] y que aportan un servicio a los usuarios.	913 €
Paneles solares	Los paneles solares tienen un precio de 170 € cada uno, siendo 12 paneles los colocados en la instalación.	2040 €
Inversor	Se coloca un inversor con un coste de 1046,93 €.	1046,93 €
Batería	Se coloca una batería con un coste de 4434 €.	4434 €
<b>COSTE ESTRUCTURA</b>		
(Para la elaboración de este presupuesto no se ha tenido en cuenta el precio del acero)		
Estructura metálica soporte	Se necesitan dos estructuras de soporte de las placas solares, con un precio de 143.40€ cada una.	286,80 €
Panel sándwich	Se colocan 35 m <sup>2</sup> de cubierta de panel sándwich con un precio de 811,30 m <sup>2</sup> .	811,30 €
<b>COSTE DE PERSONAL</b>		
Análisis bibliográfico		2400 €
Realización de estudios		3200 €
Asesoramiento tutor		1500 €
Asesoramiento tutor-colaborador		450 €
<b>COSTES</b>		<b>17082 €</b>
<b>Beneficio industrial (6%)</b>		<b>1024,92 €</b>
<b>TOTAL (sin IVA)</b>		<b>18106,92 €</b>
<b>TOTAL (con IVA)</b>		<b>21909,37 €</b>

Se concluye, alcanzando un valor de VEINTIUNMIL NOVECIENTOS NUEVE EUROS CON TREINTA Y SIETE CENTIMOS en el presupuesto estimado de este proyecto.

# 6. Conclusiones y posible trabajo futuro

## 6.1. CONCLUSIONES

En base a los resultados expuestos en el presente proyecto se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Es viable colocar una instalación solar sobre una marquesina para dar unos nuevos servicios a los usuarios no disponibles en la marquesina actual,
- La orientación oeste de las placas solares es más factible en esta ubicación específica, teniendo en cuenta los distintos datos obtenidos con el programa PVGIS.
- Se decide colocar las placas solares sobre una estructura metálica, instalada sobre la cubierta de la marquesina de forma coplanar, teniendo la misma inclinación que esta.
- Obtención de un excedente energético producido por la instalación cuyo uso puede destinarse a otras aplicaciones.
- Elección de todos los equipos electrónicos necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación. Esto incluye la selección del inversor baterías, paneles solares y de las cargas del sistema
- Realización de un cálculo estructural de la marquesina de forma sencilla gracias a un programa de MEF y garantizando el cumplimiento de los límites de servicio.
- Análisis de los resultados de la estructura comprobando su viabilidad técnica

## 6.2. TRABAJOS FUTUROS

Como se ha expuesto en el comienzo de la memoria, este documento no es una memoria constructiva. Se exponen una serie de trabajos futuros a realizar con el objetivo de implementar la solución estudiada:

- Cálculo de cableado, protecciones y diseño de la instalación eléctrica.
- Elección de la disposición de los distintos dispositivos analizados en la marquesina y acondicionamiento del interior de la marquesina.
- Integración ambiental de la marquesina en el entorno.
- Cálculo de cimentaciones, uniones y anclajes de la estructura de la marquesina.
- Proponer estructura de falso techo soporte de la iluminación y paredes de cerramiento de la marquesina.
- Proponer soluciones de ventilación y refrigeración tanto del espacio de la marquesina como de los equipos electrónicos buscando un enfoque innovador y de ahorro energético. Analizando opciones como recirculaciones de aire ambiente o pozo canadiense.

# 7. Anexos

## 7.1. ANEXO I. ESTUDIOS REALIZADOS CON SOFTWARE PVGIS

En estos anexos e incluyen los estudios realidades con el programa PVGIS [4] en la ubicación bajo el análisis, los cuales, explican de forma detallada, los datos sintetizados en la memoria.

Estos estudios son:

- 1<sup>er</sup> estudio: Se plantea la orientación escogida, dirección oeste, con un azimut de 90°, siendo el programa el encargado de calcular el ángulo de inclinación óptima.
- 2<sup>o</sup> estudio: Se plantea la misma orientación que en el primer caso, pero con un ángulo de inclinación nulo, es decir, suponiendo unos módulos colocados sobre la cubierta sin ninguna inclinación sobre la horizontal.
- 3<sup>er</sup> estudio: El programa será el encargado de calcular los ángulos azimut y de inclinación óptimos. Esta simulación se hace con el fin de obtener los mejores datos de producción posibles en la ubicación, aunque este diseño no se vaya a realizar, debido a la aparición de sombras entre paneles y a los costes que supondría esta instalación.
- 4<sup>o</sup> estudio: Se comprueba la temperatura media de la ubicación entre los años 2005 y 2020.

# Rendimiento de un sistema FV conectado a red

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

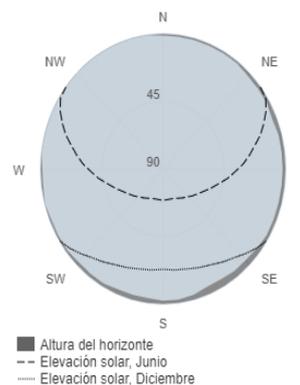
## Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 43.524,-5.627  
 Horizonte: Calculado  
 Base de datos: PVGIS-SARAH2  
 Tecnología FV: Silicio cristalino  
 FV instalado: 5.46 kWp  
 Pérdidas sistema: 14 %

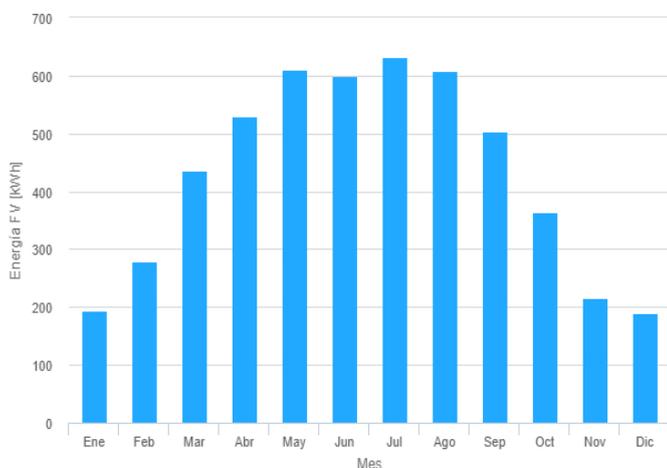
## Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 31 (opt) °  
 Ángulo de azimut: 90 °  
 Producción anual FV: 5166.45 kWh  
 Irradiación anual: 1202.57 kWh/m<sup>2</sup>  
 Variación interanual: 188.57 kWh  
 Cambios en la producción debido a:  
 Ángulo de incidencia: -3.85 %  
 Efectos espectrales: 1.3 %  
 Temperatura y baja irradiancia: -6.06 %  
 Pérdidas totales: -21.32 %

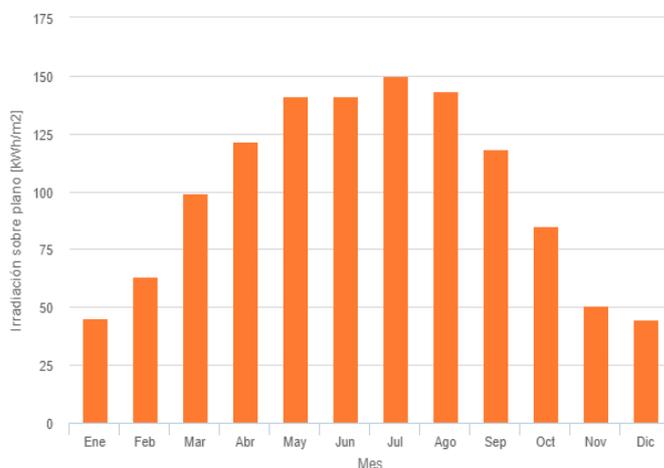
## Perfil del horizonte en la localización seleccionada



## Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



## Irradiación mensual sobre plano fijo:



## Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	193.7	45.2	21.2
Febrero	278.2	63.3	47.6
Marzo	437.2	99.0	72.8
Abril	530.9	121.5	65.6
Mayo	611.5	140.9	82.3
Junio	598.6	141.0	62.6
Julio	633.0	149.8	53.9
Agosto	608.0	143.4	59.9
Septiembre	504.7	118.0	35.2
Octubre	365.1	85.1	33.1
Noviembre	216.5	50.5	30.3
Diciembre	189.1	44.7	23.7

E\_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].

H(i)\_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD\_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

# Rendimiento de un sistema FV conectado a red

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

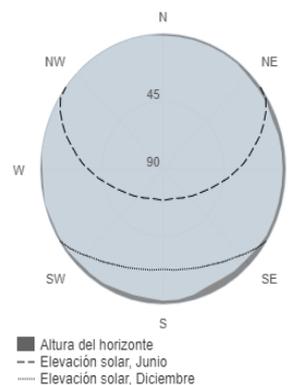
## Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 43.524,-5.627  
 Horizonte: Calculado  
 Base de datos: PVGIS-SARAH2  
 Tecnología FV: Silicio cristalino  
 FV instalado: 5.46 kWp  
 Pérdidas sistema: 14 %

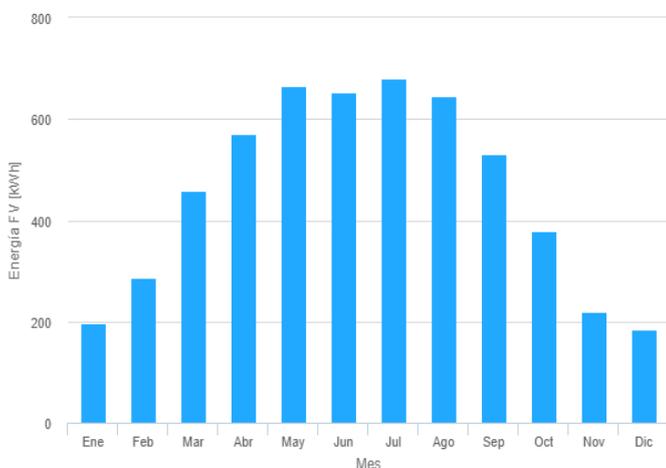
## Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 0 °  
 Ángulo de azimut: 90 °  
 Producción anual FV: 5470.14 kWh  
 Irradiación anual: 1272.92 kWh/m<sup>2</sup>  
 Variación interanual: 147.03 kWh  
 Cambios en la producción debido a:  
 Ángulo de incidencia: -4.22 %  
 Efectos espectrales: 1.28 %  
 Temperatura y baja irradiancia: -5.66 %  
 Pérdidas totales: -21.29 %

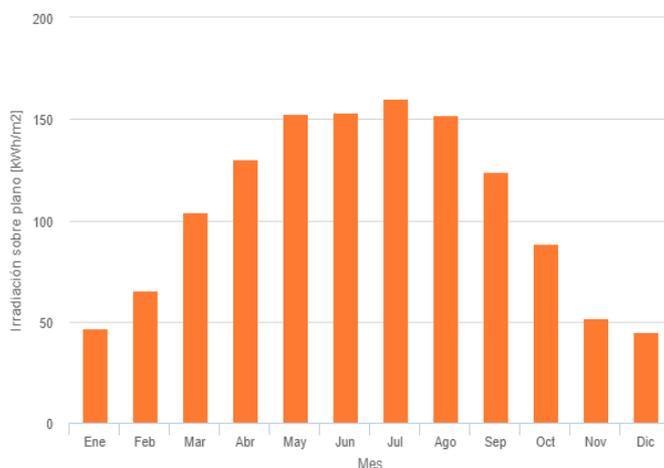
## Perfil del horizonte en la localización seleccionada



## Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



## Irradiación mensual sobre plano fijo:



## Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	197.3	46.8	20.8
Febrero	286.1	65.5	49.7
Marzo	459.2	104.0	71.6
Abril	569.7	130.0	69.8
Mayo	665.9	152.7	82.6
Junio	652.7	153.0	67.7
Julio	680.1	160.3	53.4
Agosto	646.3	152.0	55.5
Septiembre	531.5	124.0	33.9
Octubre	377.8	88.3	31.5
Noviembre	219.0	51.8	31.3
Diciembre	184.6	44.7	23.6

E\_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].

H(i)\_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD\_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

# Rendimiento de un sistema FV conectado a red

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

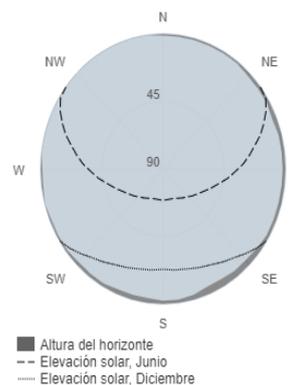
## Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 43.524,-5.627  
 Horizonte: Calculado  
 Base de datos: PVGIS-SARAH2  
 Tecnología FV: Silicio cristalino  
 FV instalado: 5.46 kWp  
 Pérdidas sistema: 14 %

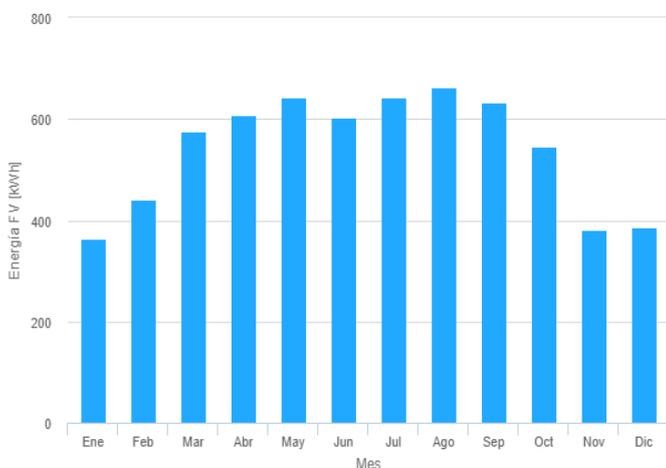
## Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 37 (opt) °  
 Ángulo de azimut: -1 (opt) °  
 Producción anual FV: 6486.72 kWh  
 Irradiación anual: 1489.38 kWh/m<sup>2</sup>  
 Variación interanual: 186.45 kWh  
 Cambios en la producción debido a:  
 Ángulo de incidencia: -2.85 %  
 Efectos espectrales: 1.45 %  
 Temperatura y baja irradiancia: -5.89 %  
 Pérdidas totales: -20.23 %

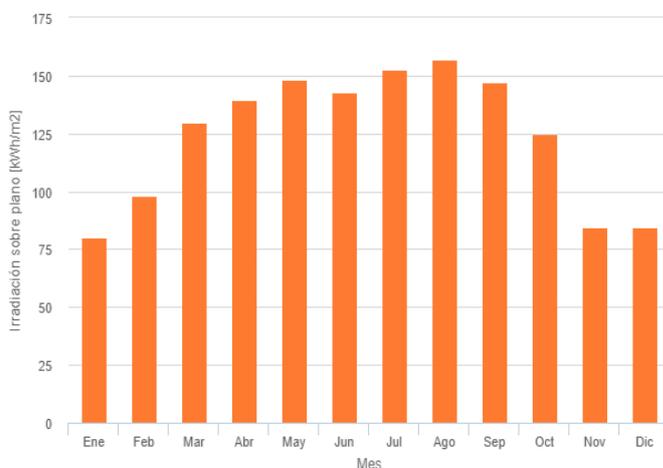
## Perfil del horizonte en la localización seleccionada



## Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



## Irradiación mensual sobre plano fijo:



## Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	364.3	80.1	58.9
Febrero	441.9	97.9	103.6
Marzo	575.5	129.6	109.4
Abril	608.8	139.6	87.3
Mayo	642.3	148.3	82.7
Junio	604.3	142.6	64.9
Julio	642.9	152.6	52.6
Agosto	663.0	156.8	60.1
Septiembre	631.9	147.4	48.1
Octubre	545.4	125.1	58.6
Noviembre	380.9	84.6	78.8
Diciembre	385.5	84.7	70.0

E\_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].

H(i)\_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD\_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

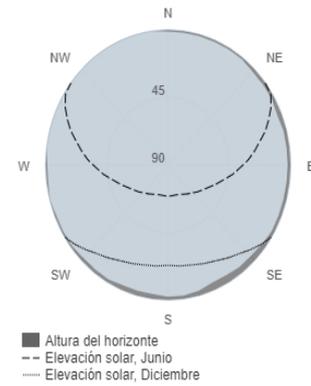
# Informe creado el

## PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial

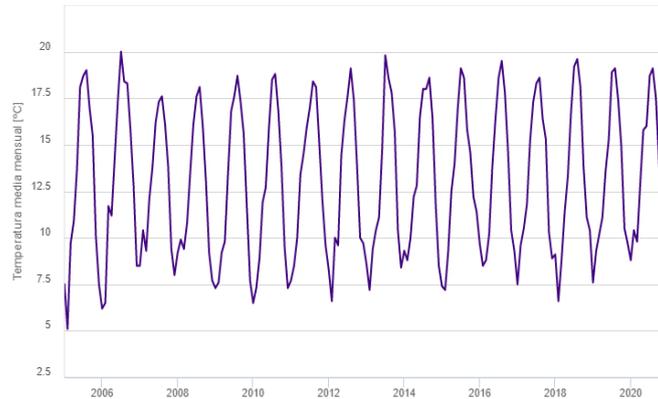
### Datos proporcionados

Latitud/Longitud:	43.524,-5.627
Horizonte:	Calculado
Base de datos	PVGIS-SARAH2
Año inicial:	2005
Año final:	2020
Variables incluidas en este informe:	
Irradiación global horizontal:	No
Irradiación directa normal:	No
Irradiación global con el ángulo óptimo:	No
Irradiación global con el ángulo °	No
Ratio difusa/global	No
Temperatura media	Si

### Perfil del horizonte en la localización seleccionada



### Temperatura media mensual



### Temperatura media mensual

Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enero	7.5	6.2	8.5	9.2	7.3	6.5	7.7	8.3	8.6	9.3	7.4	9.7	7.5	9.1	7.6	8.8
Febrero	5.1	6.5	10.4	9.9	7.6	7.3	8.5	6.6	7.2	8.8	7.2	8.5	9.6	6.6	9.3	10.4
Marzo	9.7	11.7	9.3	9.4	9.2	8.9	10	10	9.4	10	9.3	8.8	10.5	8.8	10.2	9.8
Abril	10.9	11.2	12.1	10.8	9.8	11.9	13.4	9.6	10.4	12.2	12.5	10.2	11.8	11.4	11.1	12.9
Mayo	13.7	14.3	13.8	13.5	13.5	12.7	14.5	14.4	11.1	12.8	14	13.8	15.2	13.3	13.6	15.8
Junio	18.1	17.4	16.2	16.1	16.8	15.9	15.9	16.3	14.8	16.5	16.9	16.4	17.3	16.7	15.3	16
Julio	18.7	20	17.3	17.6	17.6	18.5	17	17.6	19.8	18	19.1	18.6	18.3	19.2	18.9	18.7
Agosto	19	18.4	17.6	18.1	18.7	18.8	18.4	19.1	18.6	18	18.6	19.5	18.6	19.6	19.1	19.1
Septiembre	17	18.3	16.1	16	17.3	16.8	18.1	17.4	17.8	18.6	15.8	17.8	16.4	18.1	17.4	17.5
Octubre	15.5	15.8	13.8	13	15.6	13.8	15.1	13.9	15.7	16.4	14.6	14.6	15.3	13.8	14.9	13.9
Noviembre	10.1	12.8	9.4	9.2	11.6	9.5	12	10	10.4	11.8	12.2	10.4	10.3	11.1	10.5	12
Diciembre	7.5	8.5	8	7.7	7.7	7.3	9.6	9.7	8.4	8.5	11.4	9.3	8.9	10.4	9.7	8.8

## 7.2. ANEXO II. CARGAS ELÉCTRICAS DEL SISTEMA.

Se presentan los elementos eléctricos que integran la carga del circuito, es decir, los receptores eléctricos del sistema y se pretende realizar un análisis más profundo sobre su elección, su función y sus especificaciones más importantes. Los dispositivos escogidos se han catalogado usando un código para poder facilitar y optimizar el trato de los datos.

Para escoger estos dispositivos se ha realizado una búsqueda en la web analizando el mercado, sin buscar ni el mejor componente ni el más barato sino uno que por características sea adecuado para una instalación real y desarrolle su cometido de una forma óptima a base de dispositivos accesibles para cualquier usuario.

CÓDIGO	DISPOSITIVO
CIF_LU1	Luz led ambiente
CIF_LU2	Foco led accesos
CIF_LU3	Panel publicitario e informativo luminoso
CIF_LU4	Pantalla TV informacion
CIF_CA1	Cargador para móvil (carga rápida)
CIF_CA2	Cargador ordenador portátil
CIF_CA3	Cargador patinete electrico
CIF_CAM	Cámara de vigilancia

Tabla 3.4. Lista de dispositivos que forman parte de la carga de la instalación

A continuación, se expone una explicación de los equipos escogidos:

- CIF\_LU1[51]: Estas luces LED proporcionan una luz que equivale a las antiguas luces convencionales. Se ha escogido colocar tres pantallas cuadradas led para iluminar la estancia ya que actualmente su uso está muy extendido debido al buen resultado que tienen en interiores gracias a su intensidad, tono de luz, ahorro energético que suponen y su fácil instalación. Tienen una potencia de 13.5 W y se instalarán tres unidades. Su precio es de 40 € la unidad.

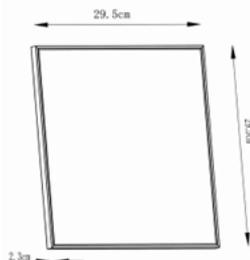


Figura 7.1. Panel LED [51]

- CIF\_LU2[52],[53]: Se pretende afinar la estética y mejorar la accesibilidad colocando unos focos leds empotrados en el suelo de los accesos para indicar la ubicación de estos. Este elemento estará formado por cuatro focos empotrados a nivel del suelo fabricados en aluminio que darán un gran aspecto a la instalación. Se tiene cuenta que para la adecuación y posterior montaje se deberá realizar una obra constructiva. En estos apliques se colocarán bombillas tipo LED de alta eficiencia y bajo consumo que suministrarán una luz blanca neutra de 4000 K. Se colocarán en total cuatro bombillas cuya potencia pico es de 4.7 W. Las bombillas tienen un precio de 5 € por unidad y los apliques 20 €.

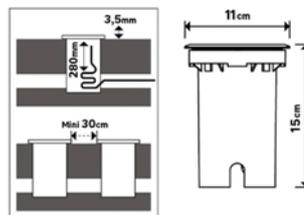


Figura 7.2. Foco empotrable [52]

- CIF\_LU3[54]: Un elemento muy común de las marquesinas de autobús es un panel luminoso de publicidad o panel MUPI en el que se proyectará información y publicidad tanto de la universidad como de empresas privadas. Este equipo tiene una potencia de funcionamiento de 39 W.

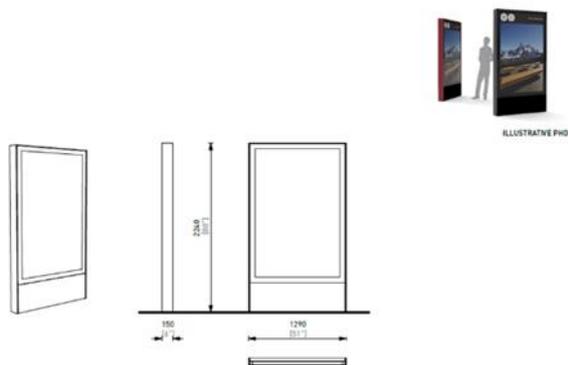


Figura 7.3. Panel Mupi [54]

- CIF\_LU4[55]: Como complemento al elemento antes presentado, se incorpora una pantalla de televisión Smart TV de 32" en el interior de la marquesina con el objetivo de seguir profundizando en garantizar la comodidad, el buen servicio y la

información a los usuarios. Esta pantalla tiene una potencia en modo encendido de 32 W y tiene un precio de 410 €.

- CIF\_CA1[56]: Uno de los objetivos principales del diseño es permitir la carga de dispositivos móviles en un elemento del mobiliario urbano. Se instalan 8 cargadores de alta velocidad para smartphones. Se colocan tantos dispositivos para garantizar que se satisface la alta demanda de este servicio tan requerido hoy en día. Estos cargadores tienen una potencia de 20 W y un precio de 13€.
- CIF\_CA2[57]: Además de cargadores para móviles, es necesaria la inclusión de cargadores para ordenadores y tablets para cumplir el objetivo de que la marquesina sea un lugar en el que el estudiante pueda aprovechar su tiempo, estudiando o trabajando, mientras que espera el autobús. Se colocarán tres cargadores que cuentan con una potencia de 90 W y que tienen un coste de 43 €.
- CIF\_CA3[58]: Otro elemento diferenciador de la instalación y que aprovechará la energía generada, será la instalación de una estación de carga de patinetes eléctricos. Estos vehículos son muy usados en la actualidad. Creando este punto de carga se da a los alumnos la opción de poder ir a las clases con su patinete y dejarlo en un lugar seguro cargando durante la jornada. Se podrán cargar simultáneamente cuatro patinetes cuya batería tenga una potencia de salida de 71 W.



Figura 7.4. Armario cargador patinetes eléctricos presente en la escuela.

- CIF\_CAM[59]: El último equipo para tener en cuenta será una cámara de vigilancia para evitar que la marquesina sea dañada y evitar cualquier tipo de vandalismo. La cámara tendrá una potencia de 3.6 W y un precio de 50 €.

Todos los elementos que se han presentado recibirán la electricidad que en su mayor parte será generada por los módulos solares pudiendo ser suministrada por la red en situaciones de baja producción. Entre los factores que se han tenido en cuenta destaca la potencia de estos elementos ya que a partir de este dato se permite calcular la potencia pico de toda la instalación y el consumo de todos sus receptores.

- POSIBLES ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS: Se presentan una serie de dispositivos que se podrían añadir a la marquesina, dando unos servicios útiles para el usuario. Se informa que en el caso de incorporar estos elementos se deberá volver a dimensionar y realizar los cálculos.
  - Sistema de voz automatizado
  - Desfibrilador.
  - Máquina dispensadora de bebidas.

### 7.3. ANEXO III. CÁLCULOS ACERCA DE CONSUMOS Y HORARIOS

En este anexo se realiza un mayor enfoque en la explicación de la toma de decisiones acerca el consumo y los tiempos de funcionamiento de los receptores.

- TIEMPOS DE USO:

Se establece una estimación acerca de los horarios de funcionamiento siendo distintos para cada uno de los periodos. El verano es un periodo donde la instalación permanece “apagada” y el funcionamiento será mínimo, con la cámara de vigilancia como único receptor conectado.

CODIGO	ESTANDAR		INVIERNO		VERANO	
	HORARIO USO	(horas/día)	HORARIO USO	(horas/día)	HORARIO USO	(horas/día)
CIF_LU1	De 20h a 22h	2	De 7h a 8h y de 18h a 21h	4	OFF	0
CIF_LU2	De 20h a 22h	2	De 7h a 8h y de 18h a 21h	4	OFF	0
CIF_LU3	De 8h a 22h	14	De 7h a 21h	14	OFF	0
CIF_LU4	De 8h a 22h	14	De 7h a 21h	14	OFF	0
CIF_CA1	De 8h a 22h	14	De 7h a 21h	14	OFF	0
CIF_CA2	De 8h a 22h	14	De 7h a 21h	14	OFF	0
CIF_CA3	De 8h a 22h	14	De 7h a 21h	14	OFF	0
CIF_CAM	De 0h a 24h	24	De 0h a 24h	24	De 0h a 24h	24

Tabla 7.1. Tiempos de uso de los distintos elementos de la carga.

- CONSUMOS:

El objetivo es calcular el consumo mensual para después compararlo con la producción solar. Se calcula el consumo diario de cada uno de los periodos, con la siguiente formula, y el resultado total corresponde al consumo realizado en un día normal, analizando todos los días como iguales, es decir, con igual consumo.[25]

$$CONSUMO \left( \frac{Wh}{día} \right) = unidades(u) \times potencia \left( \frac{W}{u} \right) \times coeficiente\ simultaneidad \times tiempo\ funcionamiento\ diario \left( \frac{h}{día} \right) \quad (6)$$

En las tablas siguientes se ve el desarrollo de los cálculos en los tres periodos propuestos.

CODIGO	POTENCIA (W)	(horas/día)	COEFICIENTE SIMULTANEIDAD	CONSUMO (Wh/día)
CIF_LU1	40,5	4	1	162
CIF_LU2	18,8	4	1	75,2
CIF_LU3	39	14	1	546
CIF_LU4	32	14	1	448
CIF_CA1	160	14	0,5	1120
CIF_CA2	270	14	0,3	1134
CIF_CA3	284	14	0,25	994
CIF_CAM	3,6	24	1	86,4

Tabla 7.2. Cálculos de consumo en el periodo de invierno.

CODIGO	POTENCIA (W)	(horas/día)	COEFICIENTE SIMULTANEIDAD	CONSUMO (Wh/día)
CIF_LU1	40,5	2	1	81
CIF_LU2	18,8	2	1	37,6
CIF_LU3	39	14	1	546
CIF_LU4	32	14	1	448
CIF_CA1	160	14	0,5	1120
CIF_CA2	270	14	0,3	1134
CIF_CA3	284	14	0,25	994
CIF_CAM	3,6	24	1	86,4

Tabla 7.3. Cálculos de consumo en el periodo estándar.

CODIGO	POTENCIA (W)	(horas/día)	COEFICIENTE SIMULTANEIDAD	CONSUMO (Wh/día)
CIF_LU1	40,5	0	-	0
CIF_LU2	18,8	0	-	0
CIF_LU3	39	0	-	0
CIF_LU4	32	0	-	0
CIF_CA1	160	0	-	0
CIF_CA2	270	0	-	0
CIF_CA3	284	0	-	0
CIF_CAM	3,6	24	1	86,4

Tabla 7.4. Cálculos de consumo en el periodo de verano

Apoyándose se los cálculos se llegan a la conclusión de que el mes de invierno es el que aporta un mayor consumo y será el mes crítico a comparar con la producción solar.

- CONSUMO DIARIO TOTAL INVIERNO:  $4566 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$
- CONSUMO DIARIO TOTAL ESTANDAR  $4447 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$
- CONSUMO DIARIO TOTAL VERANO  $86,4 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$

Este consumo obtenido es el consumo de la carga después del inversor. Hay que tener en cuenta que, en los propios equipos fotovoltaicos, los inversores y las baterías también consumen energía en forma de pérdidas del circuito. Por lo tanto, se estiman estas pérdidas y añadiendo un margen por motivos de seguridad se decide que el anterior consumo diario será un 75 % del real[25].

$$\text{Consumo real} = \frac{\text{Consumo diario total}}{0.75} \quad (7)$$

Siendo los nuevos valores de consumo los siguientes:

- CONSUMO DIARIO TOTAL REAL INVIERNO:  $6088 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$
- CONSUMO DIARIO TOTAL REAL ESTANDAR  $5930 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$
- CONSUMO DIARIO TOTAL REAL  $115,2 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$

Teniendo ya el cálculo real del consumo diario, el próximo paso es calcular el consumo mensual. Para ello, se usa un mes normal de 31 días y se le restan 8 días que corresponden a los sábados y domingos, días sin consumo. Este número de días queda finalmente en 23 días y se multiplica por el consumo diario calculado para obtener el mensual.

Resultados finales consumo mensual:

- CONSUMO MENSUAL INVIERNO:  $141 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$
- CONSUMO MENSUAL ESTANDAR  $137 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$
- CONSUMO MENSUAL REAL  $3 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$

A modo de resumen de esta serie de cálculos, se presenta la siguiente gráfica, Figura 3.17, presente también en el capítulo tercero.

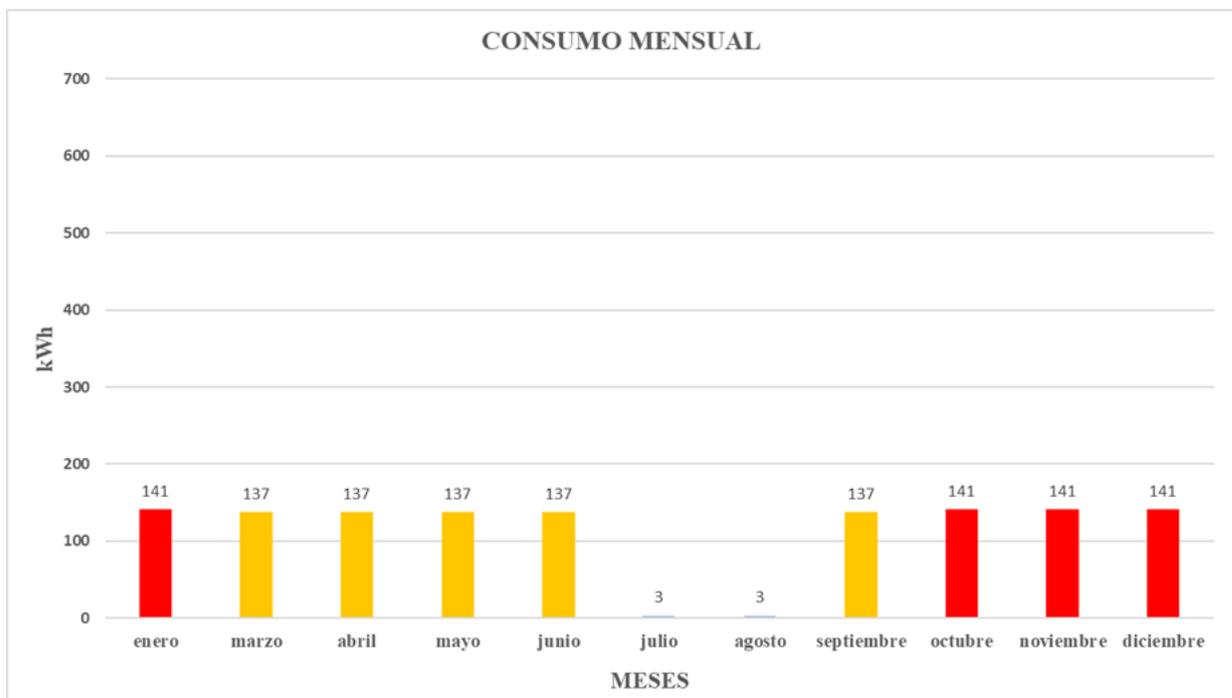


Figura 3.17. Consumo mensual [KWh] de la carga de la instalación propuesta

## 7.4. ANEXO IV. DOCUMENTACION ADICIONAL APORTADA POR RFEM 6

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
<b>Propiedades básicas</b>			
Módulo de elasticidad	E	210000,0	N/mm <sup>2</sup>
Módulo de cortante	G	81000,0	N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de Poisson	$\nu$	0,300	--
Densidad de la masa	$\rho$	7850,00	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico	$\gamma$	78,34	kN/m <sup>3</sup>
Coeficiente de dilatación térmica	$\alpha$	0,000012	1/°C
<b>Resistencias</b>			
Número de rangos de espesor	n	3	--
<b>Intervalo de espesor núm. 1</b>			
Espesor máximo	$t_{\text{máx.}}$	16,0	mm
Límite elástico	$f_y$	235,000	N/mm <sup>2</sup>
Resistencia última	$f_u$	360,000	N/mm <sup>2</sup>
<b>Intervalo de espesor núm. 2</b>			
Espesor máximo	$t_{\text{máx.}}$	40,0	mm
Límite elástico	$f_y$	225,000	N/mm <sup>2</sup>
Resistencia última	$f_u$	360,000	N/mm <sup>2</sup>
<b>Intervalo de espesor núm. 3</b>			
Espesor máximo	$t_{\text{máx.}}$	63,0	mm
Límite elástico	$f_y$	215,000	N/mm <sup>2</sup>
Resistencia última	$f_u$	360,000	N/mm <sup>2</sup>
<b>Propiedades de soldadura</b>			
Coeficiente de correlación	$\beta_w$	0,800	--

Tabla 7.5. Propiedades de acero S235 JR[44]

# Celsius 355 SHS 100x100x10

## Geometría

Canto	h	100.0	mm
Espesor	t	10.0	mm
Radio de esquina exterior	$r_o$	15.0	mm
Radio de esquina interior	$r_i$	10.0	mm
Altura de la porción recta del alma	d	60.0	mm

## Área de la sección

Área de la sección	A	34.90	cm <sup>2</sup>
--------------------	---	-------	-----------------

## Flexión

Momento de inercia respecto al eje y	$I_y$	462.00	cm <sup>4</sup>
Momento de inercia polar	$I_p$	924.00	cm <sup>4</sup>
Radio de giro respecto al eje y	$i_y$	36.4	mm
Radio de giro polar	$i_p$	51.5	mm
Momento estático respecto al eje y	$S_y$ máx.	28.14	cm <sup>3</sup>
Módulo resistente elástico respecto al eje y	$W_y$	92.40	cm <sup>3</sup>

## Cortante

Área de cortante en dirección y	$A_y$	16.07	cm <sup>2</sup>
---------------------------------	-------	-------	-----------------

## Torsión

Módulo de torsión	$I_t$	761.00	cm <sup>4</sup>
Módulo de torsión (St. Venant)	$I_{t,StVen}$	9.35	cm <sup>4</sup>
Módulo de torsión (Bredt)	$I_{t,Bredt}$	751.65	cm <sup>4</sup>
Módulo de torsión secundario	$I_{t,s}$	3.13	cm <sup>4</sup>
Módulo resistente para torsión	$W_t$	133.00	cm <sup>3</sup>

## Alabeo

Ordenada del alabeo con respecto al centro de cortante	max $\omega$	0.61	cm <sup>2</sup>
Módulo de alabeo con respecto al centro de cortante	$I_\omega$	4.76	cm <sup>6</sup>
Radio de giro de alabeo respecto al centro de cortante	$i_\omega$	0.7	mm
Módulo resistente de alabeo respecto al centro de cortante	$W_\omega$	7.74	cm <sup>4</sup>
Momento estático de alabeo con respecto al centro de cortante	max $S_\omega$	0.86	cm <sup>4</sup>

## Plasticidad

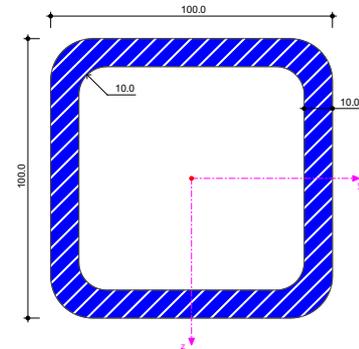
Módulo resistente plástico respecto al eje y	$W_{pl,y}$	116.00	cm <sup>3</sup>
Factor de forma plástica respecto al eje y	$\alpha_{pl,y}$	1.255	--
Área de cortante plástica en dirección y	$A_{pl,y}$	18.00	cm <sup>2</sup>
Esfuerzo axil plástico límite	$N_{pl}$	820.636	kN
Esfuerzo cortante plástico límite en dirección y	$V_{pl,y}$	244.219	kN
Momento flector plástico límite respecto al eje y	$M_{pl,y}$	27.31	kNm

## Otros

Peso	G	27.4	kg/m
Área de la superficie por unidad de longitud	$A_m$	0.374	m <sup>2</sup> /m
Volumen	V	3490.00	cm <sup>3</sup> /m
Factor de sección	$A_m/V$	107.163	1/m
Área de la celda	$A_{cell}$	80.14	cm <sup>2</sup>

## Celsius 355 SHS 100x100x10

- EN 10210-2:2006-04
- Tata Steel



[mm]

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «CM SAF Solar Radiation». [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/pvgis-data-download/cm-saf-solar-radiation\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/pvgis-data-download/cm-saf-solar-radiation_en) (accedido 31 de enero de 2023).
- [2] «HelioEsfera». <https://www.helioesfera.com/que-significan-las-siglas-stc-y-noct/> (accedido 31 de enero de 2023).
- [3] Enrique. Alcor Cabrerizo, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, Tercera Edición. Progensa, 2002.
- [4] Union Europea, «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission». [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_index.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html) (accedido 31 de enero de 2023).
- [5] JA SOLAR, «JAM72S20 445-470/MR» Accedido: 31 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.es/pdf/JaSolar-M72S20-MR440-465W.pdf>
- [6] Euroserv'er, «PHOTOVOLTAIC BAROMETER», abr. 2022. Accedido: 31 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.euroserv-er.org/photovoltaic-barometer-2022/>
- [7] Red Eléctrica, «Un papel protagonista en la transición energética». <https://www.ree.es/es/red21/un-papel-protagonista-en-la-transicion-energetica> (accedido 31 de enero de 2023).
- [8] «La Unión Europea en la lucha contra el cambio climático». <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/la-union-europea/> (accedido 31 de enero de 2023).
- [9] *Legislación europea sobre el clima*. Unión Europea, 2021. Accedido: 31 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119>
- [10] Junta General del Principado de Asturias, *Ley 12/2018, de 23 de noviembre, de Transportes y Movilidad Sostenible*. 2018. Accedido: 31 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2019/BOE-A-2019-465-consolidado.pdf>
- [11] Ayuntamiento de Gijón, *IV. Administración Local*. 2021. Accedido: 31 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.asturias.es/bopa>

- [12] «Universidad de Oviedo - Plan estratégico Universidad - Noticias». <https://www.uniovi.es/-/plan-estrategico-universidad> (accedido 31 de enero de 2023).
- [13] F. Velez Canzobre, «M E M O R I A 0.-OBJETO Y EMPLAZAMIENTO», Diputación de Cádiz, Chiclana De la Frontera, 2017.
- [14] «Marquesinas de autobús y refugios | mmcite». <https://www.mmcite.com/es/paradas-de-autobus> (accedido 31 de enero de 2023).
- [15] J. M. Sancho Ávila, J. Riesco Martín, C. Jiménez Alonso, M. C. Sánchez de Cos Escuin, J. Montero Cadalso, y M. López Bartolomé, «Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT». Accedido: 31 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas\\_radiacion\\_solar/atlas\\_de\\_radiacion\\_24042012.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf)
- [16] Red Eléctrica, «Solar fotovoltaica. Generación | Informes del sistema». <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-de-energias-renovables/sol/generacion/solar-fotovoltaica-solgeneracion> (accedido 31 de enero de 2023).
- [17] T. Huld, R. Müller, y A. Gambardella, «A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa», *Solar Energy*, vol. 86, n.º 6, pp. 1803-1815, jun. 2012, doi: 10.1016/J.SOLENER.2012.03.006.
- [18] M. B. Blarke y B. M. Jenkins, «SuperGrid or SmartGrid: Competing strategies for large-scale integration of intermittent renewables? », *Energy Policy*, vol. 58, pp. 381-390, jul. 2013, doi: 10.1016/J.ENPOL.2013.03.039.
- [19] M. Rico Secades, «CE1 Elementos de un Sistema Electrónico de Potencia v1».
- [20] «Blog de energía solar y autoconsumo | SotySolar», <https://sotysolar.es/blog/categoria/placas-solares>, Accedido: 1 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://sotysolar.es/blog/categoria/placas-solares>
- [21] «Unit 1-Introduction and review of renewable power plants». Accedido: 1 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://lemuruniovi.com/wp-content/uploads/2021/03/IEREGS\\_U1.3\\_IntroductionDC.pdf](https://lemuruniovi.com/wp-content/uploads/2021/03/IEREGS_U1.3_IntroductionDC.pdf)
- [22] «Kit Autoconsumo Huawei 5000W 27000Whdia | ». <https://autosolar.es/kit-solar-hibrido/kit-autoconsumo-huawei-5000w-25000whdia> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [23] European Commission, «Informe Temperatura Media Mensual PVGIS», nov. 2022.

- [24] «¿Qué es y cómo se calculan el ángulo de acimut y el ángulo de inclinación en las instalaciones solares fotovoltaicas? - Aprende Ciencia y Tecnología». <https://aprendecienciaytecnologia.com/2019/12/03/que-es-y-como-se-calculan-el-angulo-de-acimut-y-el-angulo-de-inclinacion-en-las-instalaciones-solares-fotovoltaicas/> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [25] «Calculos Instalación Solar Fotovoltaica».
- [26] «Qué es el factor de simultaneidad y cómo calcularlo | Endesa». <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/factor-simultaneidad-calculo> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [27] «Inversor de red». [https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor\\_de\\_red](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_de_red) (accedido 9 de febrero de 2023).
- [28] «Inverter». <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/powering-grid-forming-inverters#:~:text=Grid%2Dforming%20inverters%20are%20an,in%20grid%2Dforming%20inverter%20technology> (accedido 9 de febrero de 2023).
- [29] «Different Types of Inverters and Their Applications». <https://circuitdigest.com/tutorial/different-types-of-inverters> (accedido 6 de febrero de 2023).
- [30] «SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1| Hoja de Especificaciones».
- [31] «Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W». <https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-huawei-sun2000-5ktl-11-5000w> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [32] «Smart String Energy Storage System Perfect Compatibility Quick Commissioning Flexible Investment Power Module Battery Module (Energy Optimizer Included)».
- [33] «Smart String Energy Storage System Perfect Compatibility Quick Commissioning Flexible Investment Power Module Battery Module (Energy Optimizer Included)».
- [34] «Documentos CTE». <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/DocumentosCTE.html> (accedido 3 de febrero de 2023).
- [35] «SUPPORTS by GONVARRI - SISTEMA INCLINADO BASICO».
- [36] C. Sant, C. Atoyac, D. Benito, y J. México, «PLANOS DE MONTAJE GENÉRICOS SISTEMA INCLINADO BÁSICO VISTA FRONTAL VISTA SUPERIOR VISTA LATERAL PERSPECTIVA».

- [37] «Estructura 6 Paneles 30-45mm Coplanar Falcat | AutoSolar». <https://autosolar.es/estructuras-cubierta-metalica/estructura-6-paneles-30-45mm-coplanar-falcat> (accedido 3 de febrero de 2023).
- [38] «datasheet-estructura-cubierta-metalica-falcat».
- [39] «Instalación de estructura: L feet Distancias instalación».
- [40] «PANEL TAPAJUNTAS Paneles de Cubierta · Panel Sandwich Group Datos técnicos del Panel Tapajuntas Características del Panel Tapajuntas», Accedido: 3 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: [www.panelsandwich.com](http://www.panelsandwich.com)
- [41] «Precio Panel Sandwich Tapajuntas - Panel Sandwich». <https://www.panelsandwich.com/producto/panel-sandwich-tapajuntas/> (accedido 3 de febrero de 2023).
- [42] J. M. Gere y S. Timoshenko, «Mechanics of materials : solutions manual», p. 292, 1991, Accedido: 4 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.casadellibro.com/libro-mechanics-of-materials/9780412430909/2065>
- [43] «Capítulo 5. EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS APLICADO AL CÁLCULO ESTRUCTURAL».
- [44] «RFEM 6 | software de análisis estructural por elementos finitos | Dlubal Software». Accedido: 3 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.dlubal.com/es/productos/rfem-software-del-mef/que-es-rfem>
- [45] D. Básico, «Ministerio de Fomento Seguridad estructural SE 1 Resistencia y estabilidad SE 2 Aptitud al servicio», 2019.
- [46] S. Estructural, «Documento BásicoSE-AE», 2009.
- [47] «EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings».
- [48] «UNE-EN 62135-1:2015/AC:2016-02 (Ratificada) Equipos de soldadu...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056293> (accedido 3 de febrero de 2023).
- [49] «UNE-EN 10025-2:2006 Productos laminados en caliente de aceros ...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-10025-2-2006-n0037128> (accedido 3 de febrero de 2023).
- [50] Cpa, «TÍTULO 3.º PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES Y DURABILIDAD CAPÍTULO VI MATERIALES».

- [51] «Panel LED cuadrado INSPIRE SPF Gdanks 30x30 CCT intensidad regulable | Leroy Merlin». <https://www.leroymerlin.es/productos/iluminacion/iluminacion-interior/paneles-led/panel-led-cuadrado-inspire-spf-gdanks-30x30-cct-intensidad-regulable-82857167.html> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [52] «Foco empotrable Atlanta GU10 gris INSPIRE | Leroy Merlin». <https://www.leroymerlin.es/productos/iluminacion/iluminacion-exterior/focos-de-exterior-led/foco-empotrable-atlanta-gu10-gris-inspire-71924013.html?src=clk> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [53] «Bombilla LED LEXMAN reflector casquillo GU10 de 4000 K | Leroy Merlin». <https://www.leroymerlin.es/productos/iluminacion/bombillas-y-tubos/bombillas-led/bombilla-led-lexman-reflector-casquillo-gu10-de-4000-k-84467842.html?src=clk> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [54] «Clig | mmcité». <https://www.mmcite.com/es/clig> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [55] «KD-32W800 Especificaciones| Sony ES». <https://www.sony.es/electronics/support/televisions-projectors-lcd-tvs-android-/kd-32w800/specifications> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [56] «Mi 20W Charger (Type-C) | Xiaomi España | Mi.com». <https://www.mi.com/es/product/mi-20w-charger-type-c/> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [57] «HP Accesorios HP | HP Store - Tienda Oficial». <https://www.hp.com/es-es/shop/list.aspx?sel=ACC> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [58] «Mi Electric Scooter 1S | Xiaomi España | Mi.com - Xiaomi España». <https://www.mi.com/es/mi-electric-scooter-1S/specs/> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [59] «Tapo C210 | Cámara Wi-Fi vigilancia 360° | TP-Link España». <https://www.tp-link.com/es/home-networking/cloud-camera/tapo-c210/> (accedido 2 de febrero de 2023).