



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**EVALUACIÓN
TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO**

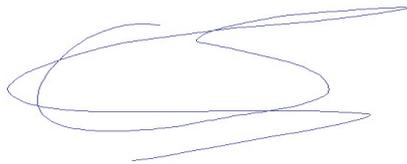
Autor: Carlos Samuel Lucas Carpintero

Director: Ignacio Martín Gutiérrez

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Evaluación Técnica y Económica de un Parque Solar Fotovoltaico
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Carlos Samuel Lucas Carpintero

Fecha: ...26.../ ...11.../ ...2024...

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



2024.11.25

13:11:22

+11'00'

Fdo.: Ignacio Martín Gutiérrez.

Fecha: ...25.../ ...11.../ ...2024...



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**EVALUACIÓN
TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO**

Autor: Carlos Samuel Lucas Carpintero

Director: Ignacio Martín Gutiérrez

Madrid

Agradecimientos

Me gustaría aprovechar este apartado del presente Trabajo Final de Grado para agradecer a mi familia y en especial a mis padres y hermana, por la confianza, cariño y apoyo que me han mostrado durante estos años de carrera y que me han resultado fundamentales durante estos años.

También me gustaría agradecerles a los profesores que me han ido ayudando a formarme durante los años de grado, por su paciencia, atención y empatía que han mostrado durante estos años de aprendizaje.

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO

Autor: Lucas Carpintero, Carlos Samuel.

Director: Martín Gutiérrez, Ignacio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

1. Introducción

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se centra en estudiar la viabilidad de instalar una planta solar fotovoltaica en el municipio de Motilla del Palancar, ubicado en la provincia de Cuenca, Castilla-La Mancha. En las últimas décadas, se ha hecho evidente que la sociedad global depende cada vez más de la energía eléctrica, una tendencia impulsada por el aumento en el uso de dispositivos electrónicos, la interconexión tecnológica y el crecimiento poblacional sostenido, producto de las mejoras en las condiciones de vida. Este incremento en la demanda eléctrica hace necesario considerar fuentes de energía sostenibles y con bajo impacto ambiental.

Las plantas solares fotovoltaicas ofrecen una respuesta a esta necesidad al generar electricidad de manera limpia, evitando daños significativos al medio ambiente. Además, representan una tecnología de generación que se perfila como una de las principales fuentes de suministro en el sector eléctrico nacional. Este proyecto no solo evalúa el potencial de implantación en esta localidad específica, sino que también analiza cómo estas instalaciones pueden contribuir a satisfacer las crecientes necesidades energéticas de una sociedad en constante transformación, apuntando a un modelo de energía más sostenible y resiliente para el futuro.

2. Definición del proyecto

Durante el desarrollo del presente proyecto se tiene como objetivo principal analizar los pasos necesarios para evaluar técnica y económicamente la viabilidad de una planta solar fotovoltaica en Motilla del Palancar, Cuenca. El estudio se enfocará en calcular la potencia requerida para cubrir la demanda energética, adaptándola a las ofertas del mercado, y en aplicar conocimientos del sector eléctrico en España. Además, se evaluarán las tensiones y corrientes admisibles en los equipos, se analizarán las opciones de interconexión entre ellos y se aplicarán conocimientos económicos para valorar la inversión y rentabilidad del proyecto. En conjunto, el TFG busca proporcionar una base sólida para el desarrollo de una planta eficiente y sostenible en el entorno local.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

De cara a llevar a cabo este trabajo de fin de grado se han empleado dos tipos de calculadoras online, PVGIS y MonSolar, las cuales mediante simulaciones y una cierta entrada de datos inicial generaban estimaciones de generación y espacio relacionado con el dimensionamiento de las placas solares. Estos datos que arrojaban las calculadoras tenían que ver con la generación de energía fotovoltaica por parte de la calculadora PVGIS y el espacio a ocupar y relacionado con la separación entre placas por parte de la calculadora MonSolar. Con el fin de calcular los gastos que acarrearía este proyecto solar en Motilla del Palancar se ha llevado a cabo un estudio de los precios del mercado

de la apartamenta a utilizar además del contacto con los proveedores de ciertas herramientas con el fin de obtener estimación o incluso precios exactos de los equipos a emplear.

4. Resultados

El proyecto de parque solar en Motilla del Palancar busca producir la energía suficiente como para poder cubrir la demanda energética del municipio en su mes pico (3,05 GWh en diciembre) mediante una planta fotovoltaica de 36.587 kWp, diseñada para operar con paneles Huawei de 250 Wp y cuatro inversores SUNGROW SG8800UD -MV. Esta configuración, optimizada con un sistema de seguimiento de un eje, asegura un rendimiento anual eficiente con una eficiencia total del 14,03%, considerando pérdidas por factores como reflexión, temperatura y suciedad. La conexión a la red se realizará en una subestación cercana, simplificando la infraestructura y reduciendo costos adicionales.

La inversión inicial (CAPEX) asciende a 24,1 millones de euros, y se espera reducir hasta el 83% de este monto mediante fondos europeos, lo que haría viable el proyecto financieramente. Los costos operativos (OPEX) anuales se estiman en 1,17 millones de euros, necesarios para el mantenimiento de los paneles y la operación general. Se prevé que el retorno de la inversión inicial se logrará en aproximadamente 2 años y 8 meses; Sin embargo, considerando todos los costos, el período de retorno total sería de unos 29 años, en función de los precios de la electricidad.

5. Conclusiones

El proyecto de planta solar en Motilla del Palancar es viable técnicamente, con una capacidad de generación que cubre sobradamente la demanda local. La configuración óptima y el margen de producción permiten su operación estable, aunque a largo plazo requerirá renovar algunos equipos.

Económicamente, el proyecto presenta dificultades: requiere una alta inversión inicial, y su retorno, estimado en 29 años, coinciden con el fin de la vida útil de los paneles, lo cual limita la rentabilidad y los beneficios para inversores privados. Dado el bajo beneficio económico, sería más adecuado para la financiación pública, logrando así sus objetivos ambientales sin depender de un alto retorno financiero.

6. Referencias

- [1] Simulador de la Unión Europe PVGIS version 5.3 .
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
- [2] Calculadora perteneciente a la empresa MonSolar. <https://www.monsolar.com/separacion-paneles-solares> .

TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF A PHOTOVOLTAIC SOLAR PARK.

Author: Lucas Carpintero, Carlos Samuel.

Supervisor: Martín Gutiérrez, Ignacio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

1. Introduction

This Final Degree Project (TFG) focuses on studying the feasibility of installing a photovoltaic solar power plant in the municipality of Motilla del Palancar, located in the province of Cuenca, Castilla-La Mancha. In recent decades, it has become evident that global society increasingly depends on electrical energy, a trend driven by the rise in electronic device usage, technological interconnection, and sustained population growth resulting from improved living conditions. This increase in electricity demand makes it necessary to consider sustainable energy sources with low environmental impact.

Photovoltaic solar plants offer a solution to this need by generating electricity cleanly and avoiding significant environmental damage. Furthermore, they represent a generation technology that is positioned to become one of the main sources of supply in the national electric sector. This project not only evaluates the potential for implementation in this specific locality but also analyzes how these facilities can help meet the growing energy needs of society in constant transformation, aiming for a more sustainable and resilient energy model for the future.

2. Project definition

The main objective of this project is to analyze the necessary steps to technically and economically assess the feasibility of a photovoltaic solar plant in Motilla del Palancar, Cuenca. The study will focus on calculating the power required to meet energy demand, aligning it with market offerings, and applying knowledge from Spain's electrical sector. Additionally, it will evaluate the admissible voltages and currents for the equipment, analyze interconnection options among components, and apply economic principles to assess the investment and profitability of the project. Together, this TFG aims to provide a solid foundation for developing an efficient and sustainable plant in the local area.

3. Model/System/Tools description

To carry out this final degree project, two types of online calculators were used: PVGIS and MonSolar. These calculators generated estimates of energy generation and spatial requirements for the sizing of solar panels based on simulations and specific initial input data. The data provided by the calculators included photovoltaic energy generation estimates from PVGIS and space requirements related to panel spacing from MonSolar. To calculate the expenses involved in this solar project in Motilla del Palancar, a study of market prices for the necessary equipment was conducted, along with direct contact with suppliers of certain tools to obtain either estimates or exact prices for the equipment to be used.

4. Results

The solar park project in Motilla del Palancar aims to meet the municipality's energy demand during its peak month (3.05 GWh in December) through a photovoltaic plant with a capacity of 36,587 kWp, designed to operate with Huawei 250 Wp panels and four SUNGROW SG8800UD-MV inverters. This configuration, optimized with a single axis tracking system, ensures efficient annual performance with a total efficiency of 14.03%, accounting for losses due to factors like reflection, temperature, and dirt. The grid connection will be made at a nearby substation, simplifying infrastructure and reducing additional costs.

The initial investment (CAPEX) is €24.1 million, with up to 83% of this amount expected to be covered by European funds, making the project financially viable. Annual operating costs (OPEX) are estimated at €1.17 million, covering panel maintenance and general operations. The initial investment return is projected to be achieved in approximately 2 years and 8 months; However, considering all costs, the total payback period would be around 29 years, depending on electricity prices.

5. Conclusions

The solar plant project in Motilla del Palancar is technically viable, with a generation capacity that more than meets the local demand. Its optimal configuration and production margin allow for stable operation, although some equipment will need renewal in the long term.

Economically, the project faces challenges: it requires a high initial investment, and its estimated return period of 29 years coincides with the end of the panels' useful life, limiting profitability and benefits for private investors. Given the low economic return, public financing would be more suitable, achieving environmental goals without relying on a high financial return.

6. References

[1] [1] European Union PVGIS Simulator version 5.3.

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

[2] Calculator by MonSolar. <https://www.monsolar.com/separacion-paneles-solares>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Estado de la cuestión	7
1.2 Motivación del proyecto.....	8
1.3 Objetivos	9
1.4 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.....	10
1.5 Metodología.....	12
Capítulo 2. Contexto	14
2.1 Situación política	14
2.2 Situación del sistema eléctrico español	15
2.3 Situación fotovoltaica en España	16
2.4 Planes a futuro de la energía fotovoltaica en España	17
2.5 Retos y dificultades del sistema eléctrico español	21
•2.5.1 La eficiencia de los equipos utilizados	21
•2.5.2 Vertido eléctrico y los sistemas de almacenamiento.....	22
•2.5.3 Dependencia de las condiciones meteorológicas.....	24
•2.5.4 Caída del consumo con los años.....	25
Capítulo 3. Estudio del Entorno	26
3.1 Localización geográfica	26
3.2 Características meteorológicas y análisis del recurso solar.....	29
Capítulo 4. Introducción a la Energía Solar	31
4.1 Historia de la energía solar.....	31
4.2 Trayectoria de la energía solar en España.....	32
4.3 Funcionamiento hasta la obtención de la energía.....	34
4.4 Tipos de instalaciones y sus componentes básicos.....	34
•4.4.1 Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.....	35
•4.4.2 Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red.....	36
Capítulo 5. Marco Regulatorio para la Energía Solar en España	38

Capítulo 6. Viabilidad Técnica.....	40
6.1 Dimensionamiento de la planta	40
6.2 Diseño del sistema.....	48
•6.2.1 Elección de los paneles fotovoltaicos.....	48
•6.2.2 Elección del inversor	56
•6.2.3 Disposición del material en la planta.....	59
•6.2.4 Cajas combinadas	62
6.3 Análisis y Adecuación del Terreno	63
6.4 Perdidas del sistema	65
6.5 Eficiencia de la planta	66
6.6 Cálculo de la puesta a tierra	68
6.7 Sistema de protección.....	71
Capítulo 7. Viabilidad Económica	73
7.1 Análisis de costes	73
•7.1.1 Costes de inversión, CAPEX.....	73
•7.1.2 Costes operativos y de mantenimiento, OPEX.....	76
7.2 Fuentes de financiación y ayudas.....	80
7.3 Estimación de ingresos.....	82
7.4 Análisis financiero.....	85
•7.4.1 Payback period	85
•7.4.2 Cálculo del TIR	88
Capítulo 8. Conclusiones.....	92
8.1 Conclusiones Técnicas	92
8.2 Conclusiones Económicas	95
Capítulo 9. Bibliografía.....	100

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.	Objetivos ODS.....	10
Ilustración 2.	Situación del sistema eléctrico español.....	15
Ilustración 3.	Situación fotovoltaica en España.....	17
Ilustración 4.	PNIEC	18
Ilustración 5.	Tecnologías a reducir.....	20
Ilustración 6.	Eficiencia de los equipos.....	22
Ilustración 7.	Redes eléctricas.....	23
Ilustración 8.	Sistema de almacenamiento de energía.....	24
Ilustración 9.	Localización del parque fotovoltaico.....	27
Ilustración 10.	Perímetro y área disponible para la instalación.....	28
Ilustración 11.	Accesos a la zona seleccionada.....	29
Ilustración 12.	Instalación fotovoltaica conectada a la red.....	35
Ilustración 13.	Instalación fotovoltaica aislada de la red.....	37
Ilustración 14.	Mapa de irradiación solar en España.....	44
Ilustración 15.	Sistemas de seguimiento solar.....	51
Ilustración 16.	Captura de la simulación con PVGIS.....	52
Ilustración 17.	Resultados obtenidos tras la simulación con PVGIS.....	52

Ilustración 18.	Panel solar.....	53
Ilustración 19.	Resultados obtenidos de la calculadora de MonSolar.....	55
Ilustración 20.	Simulación de la disposición de los paneles en la ubicación.....	56
Ilustración 21.	Inversor SUNGROW SG8800UD-MV.....	58
Ilustración 22.	Ubicación de la subestación.	64
Ilustración 23.	Subestación eléctrica.	65
Ilustración 24.	Taladro habilitado para la puesta a tierra.	69
Ilustración 25.	Protecciones eléctricas presentes en subestaciones.....	71
Ilustración 26.	Riesgo de incendio por fallo eléctrico.	72
Ilustración 27.	Mantenimiento de placas solares.....	77
Ilustración 28.	Limpieza de placas solares.....	78
Ilustración 29.	Mapa de la presión dinámica del viento en España	79
Ilustración 30.	Financiación y ayudas a la energía renovable	81
Ilustración 31.	Estimación del precio medio de la electricidad por el OMIP.....	83

Índice de tablas

Tabla 1. Metodología del proyecto	1
Tabla 2. Demanda en la provincia de Cuenca en 2023 (MWh).....	41
Tabla 3. Demanda en Motilla del Palancar en 2023 (MWh).....	42
Tabla 4. Irradiación solar en Motilla del Palancar en 2020 (kWh/m2).....	45
Tabla 5. Demanda, Irradiación y potencia pico en Motilla del Palancar.....	47
Tabla 6. Temperatura en Motilla del Palancar en 2023 (°C).	49
Tabla 7. Datos generales de los paneles posibles.	54
Tabla 8. Precios totales en función del tipo de panel.	56
Tabla 9. Datos generales del inversor SG8800UD-MV.	59
Tabla 10. Datos Generales de funcionamiento panel HUAWEI 250Wp.....	60
Tabla 11. Valores máximos de paneles en serie y cadenas.....	62
Tabla 12. Costes desglosados de CAPEX.	75
Tabla 13. Costes desglosados de OPEX.	79
Tabla 14. <i>Desglose del Coste del MWh en España</i>	82
Tabla 15. <i>Comparativa de la ganancia del productor en base al precio de la luz</i>	84
Tabla 16. Ingresos por año de la planta.	85

Tabla 17. <i>Payback Period solo para el CAPEX.</i>	86
Tabla 18. Payback period total.	88
Tabla 19. Estimaciones de TIR.	90
Tabla 20. Resumen de los resultados de dimensionamiento.	92
Tabla 21. Demanda eléctrica 2011-2023.	96

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN

Acerca de la tecnología solar fotovoltaica, esta es una de las tecnologías con mayor futuro dentro del mundo de la generación eléctrica, pues si bien ya se ha evolucionado en gran medida hasta como la conocemos hoy en día, aún ha de mejorar en varios aspectos para poder cubrir la necesidad e importancia a la que está llamada a ser.

Con el paso de los años los datos de generación en numerosos países, pero en especial en el nuestro, España, han ido variando enormemente trasladándose inicialmente desde tecnologías más contaminantes como el carbón a apostar fuertemente por las energías limpias como la energía fotovoltaica o la energía eólica, pasando por tecnologías como los ciclos combinados o la nuclear. En la actualidad el panorama tiende a una gran presencia de las energías renovables y todo apunta a que se representación en el mix energético no hará más que aumentar con los años y es por ello por lo que tecnologías como la de este trabajo han evolucionado en una enorme medida de manera muy rápida.

Durante el desarrollo del proyecto se tratarán numerosos campos y secciones dentro de esta tecnología como pueden ser los distintos tipos de paneles fotovoltaicos que existen a día de hoy en el mercado solar, la disposición de estos paneles y los numerosos y tan variados paneles que se pueden encontrar en el mercado dependiendo de la potencia y comerciante que se seleccione. Con todo ello, será parte de la responsabilidad de este trabajo, el barajar las numerosas posibilidades que “a priori” pueden funcionar y beneficiarnos a la hora de poner en marcha y dimensionar este proyecto, y el proceso de decantarnos por unas u otras opciones basándonos en criterios que se irán estableciendo y desarrollando durante el trabajo.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Con el paso de los años se ha hecho más evidente la gran dependencia que la sociedad en su conjunto tendrá de la energía eléctrica. Con la evolución hacia una sociedad más interconectada y comunicada entre si y el uso a gran escala de sistemas electrónicos sumado al aumento poblacional que desde hace años se lleva dando en todo el mundo debido a la mejora de las condiciones de vida implica un mayor aumento de la demanda eléctrica.

Para cubrir esta demanda es necesario que los estados a nivel mundial dispongan de un sistema eléctrico suficientemente evolucionado para cubrir la demanda eléctrica de su población y a la vez el poder ayudar a sus estados vecinos en caso de que fuese necesario y de una manera eficiente y rentable. Sin embargo, hoy en día también hay un gran problema a nivel global que pone en jaque la vida de millones de personas como es el cambio climático. De esta manera la gran mayoría de las naciones de todo el mundo se han puesto de acuerdo para abordar la problemática de abastecer la creciente demanda energética de sus ciudadanos sin dejar de lado el compromiso de abordar el cambio climático para que esta amenaza sea reducida.

Nuestro país es uno de los 193 países de la ONU que firmaron la agenda 2030, lo que supone que desde 2016 España se compromete a implementar medidas para abordar problemáticas como la igualdad de género, cambio climático o justicia social a la vez que España se desarrolla con el curso de los años. Es por esto por lo que la potencia instala renovable en España ha aumentado en 31GW desde 2016 hasta el día de hoy y siendo esta tendencia mayor para los años venideros.

La escasez de materias primas de recursos como el gas o el petróleo en nuestro país hace que el precio de la generación de energía a partir de estas materias primas sea muy elevado. Esto, sumado a las grandes cualidades para la producción de energía eléctrica renovable de las que goza nuestro país, hace pensar que las energías renovables en nuestro país tienen un gran presente y futuro.

A nivel más personal, en este proyecto he tratado de plasmar el gran interés y admiración que me genera el sector eléctrico y la manera en la que, a través de los conocimientos adquiridos durante mi etapa como estudiante puedo ayudar en la evolución y desarrollo del sector para así poder mejorar las condiciones de vida de millones de personas, como ya lo han hecho numerosos ingenieros de esta escuela en años anteriores. Todo esto hace que afronte este proyecto con una gran motivación y entusiasmo para poder mejorar como ingeniero en el futuro y llevar a cabo obras de gran interés para el mundo.

1.3 OBJETIVOS

El presente proyecto se centrará en el dimensionamiento de una planta fotovoltaica de 36,587 MWp situada en la provincia de Cuenca, más concretamente en el término municipal de Motilla del Palancar.

El presente trabajo fijará su principal objetivo en mostrar y detallar los pasos y procedimientos que se han de llevar a cabo con el fin de llevar a proceder a una correcta evaluación técnica y económica de un posible proyecto de instalación de una planta fotovoltaica.

Algunos objetivos adicionales que se buscarán perseguir durante el presente TFG serán los siguientes:

- Cálculo de la potencia necesaria para suplir la demanda prevista y adaptación de este a las posibilidades ofrecidas por el mercado.
- Aplicación de los conocimientos adquiridos sobre el sector eléctrico en España.
- Cálculo de tensiones y corrientes máximas admisibles por los equipos empleados.
- Análisis y comparación de las posibilidades de equipos a emplear y la conexión entre estos.
- Empleo de los conocimientos económicos adquiridos.

A modo de resumen, este proyecto tiene como objetivo el proporcionar una evaluación integral de la viabilidad de un parque fotovoltaico en Motilla del Palancar, integrando análisis técnicos, económicos y sociales a la vez que busca contribuir en la sostenibilidad energética y medioambiental y al desarrollo económico y social de la región.

1.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una serie de 17 objetivos globales establecidos por la Organización de las Naciones Unidas en 2015, como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Estos objetivos abordan problemas críticos como la pobreza, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental, la paz y la justicia, entre otros. Los ODS tienen como propósito lograr un desarrollo equilibrado y sostenible, promoviendo el bienestar de las personas y la protección del planeta.



Ilustración 1: Objetivos ODS.

Cada objetivo incluye metas específicas para enfrentar los desafíos actuales de manera conjunta y coordinada. Al adoptar y trabajar hacia estos objetivos, los países, empresas y comunidades contribuyen a construir sociedades más equitativas, responsables y resilientes, mejorando la calidad de vida a nivel global y asegurando que las futuras generaciones puedan disfrutar de un mundo más sostenible y justo.

Referido al presente proyecto, los principales objetivos de entre los 17 con los que más se alinea este proyecto de fin de grado son:

- **Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante.**

La ejecución de este proyecto representa el vivo ejemplo del empleo de una de las principales tecnologías de obtención de energía más sostenible y económica existente a día de hoy.

- **Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles.**

Mediante el presente proyecto se tratará de crear un ambiente sostenible en la localidad de Motilla del Palancar ya que se tratará de que, con independencia de las condiciones ambientales, poder suministrar la demanda de este municipio mediante energía renovable.

- **Objetivo 12: Producción y consumo responsables.**

Durante la ejecución de proyecto actual se tratará de evitar los vertidos de energía inyectando la energía a la red y tratando de poder suplir demanda de los municipios cercanos a Motilla del Palancar

- **Objetivo 13: Acción por el clima.**

Mediante el uso de energías renovables como es el caso de nuestro proyecto, se ayuda en la reducción de la huella de carbono que provoca el consumo eléctrico en nuestro país y es uno de los principales objetivos de nuestro sistema eléctrico a día de hoy.

1.5 METODOLOGÍA

A fin de poder cumplir correctamente con las evaluaciones mencionadas y contar con un plazo cómodo con los que poder trabajar en el proyecto, se seguirá la siguiente metodología:

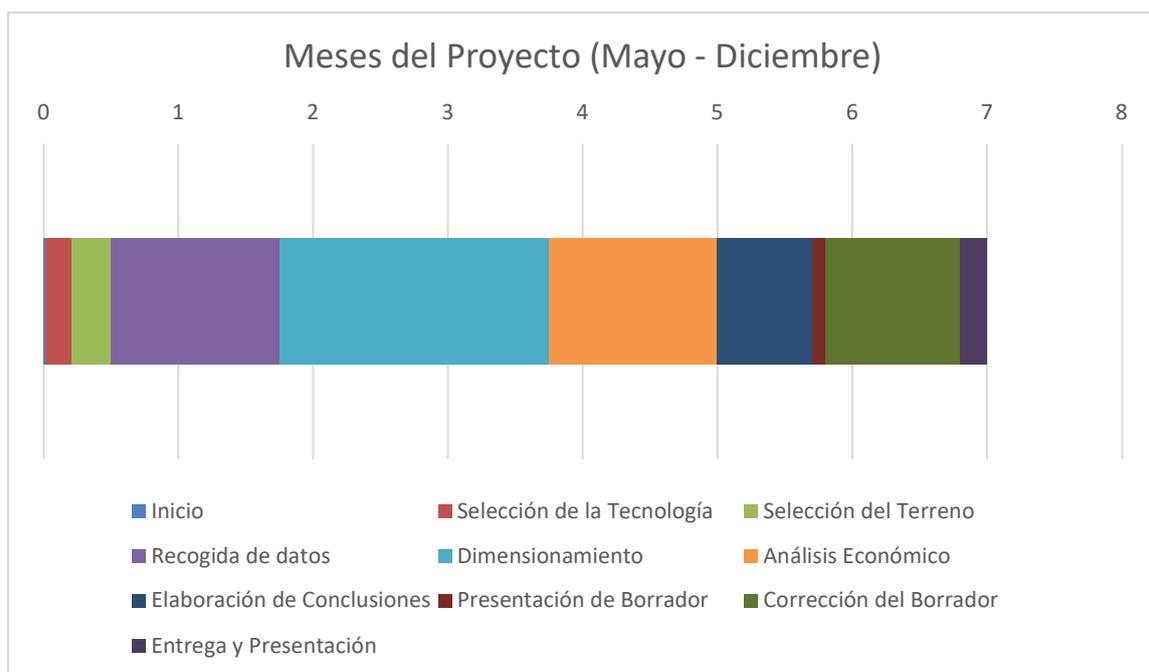


Tabla 1: Metodología del proyecto

En el anterior gráfico se puede observar la distribución de la carga de trabajo del proyecto por fases y su distribución en meses desde el inicio del proyecto en el mes 0, mayo, hasta su final entrega y presentación, la cual está prevista para diciembre, mes 7 del cronograma.

Se puede observar como las etapas que más trabajo y tiempo han requerido fueron las de recogida de los datos, el posterior dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica y el análisis económica de esta misma.

Cada una de las fases aquí representadas se estructura de ciertas subfases ya que el dimensionamiento en si consta de varios puntos como la elección de los paneles a emplear, el inversor, las distintas opciones a tener en cuenta y demás aspectos que se verán durante el desarrollo del trabajo.

Capítulo 2. CONTEXTO

2.1 SITUACIÓN POLÍTICA

La trayectoria política de la energía en España ha experimentado una evolución significativa desde los primeros pasos con la electricidad a finales del siglo XIX hasta la compleja regulación actual.

En sus inicios, la electrificación en España fue impulsada principalmente por iniciativas privadas y regionales, con un enfoque en la creación de infraestructuras básicas para la generación y distribución de electricidad, sin una política energética centralizada o regulada a nivel estatal. Durante gran parte del siglo XX, la política energética en España estuvo marcada por la necesidad de reconstrucción tras la Guerra Civil y el desarrollo industrial promovido por el régimen franquista. En esta etapa, el gobierno comenzó a tomar un papel más activo en la planificación y control del sector energético, promoviendo la construcción de grandes infraestructuras como centrales térmicas y, más tarde, nucleares. Sin embargo, la política energética seguía siendo más reactiva que proactiva, adaptándose a las necesidades del momento, como la crisis del petróleo de 1973, que obligó a buscar alternativas y a diversificar el mix energético del país. La verdadera consolidación de la política energética en España comenzó en la década de 1990, con la liberalización del mercado eléctrico. Este proceso trajo consigo la creación de un marco regulatorio más sofisticado y la entrada en juego de nuevos actores en el sector. Se establecieron leyes y normativas que regularon la generación, distribución y comercialización de electricidad, y se empezó a dar más importancia a la planificación energética a largo plazo. En las últimas décadas, el enfoque político se ha centrado en la seguridad energética, la competitividad y la sostenibilidad, con una serie de reformas y leyes que buscan equilibrar estos aspectos. La creación de organismos reguladores independientes, la implementación de planes energéticos nacionales y la alineación con las directrices de la Unión Europea han sido pasos clave en la evolución de la política energética en España.

Hoy en día, la política energética española es el resultado de más de un siglo de aprendizaje y adaptación. El gobierno ahora juega un papel central en la regulación y planificación del sector, con leyes y normativas que abarcan desde la generación hasta el consumo de energía, asegurando el suministro y promoviendo una transición hacia un sistema más moderno y eficiente.

2.2 SITUACION DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

Hoy en día, la potencia instalada en España es de 126.447 MW de los cuales un 62,7% es renovable y un 37,3% no lo es. Sin embargo, esto no ha sido siempre así ya que con el paso de los años el sistema eléctrico español ha experimentado varios cambios de tendencias en las distintas tecnologías del que se compone en favor de las energías verdes limpias de emisiones.



Ilustración 2: Situación del sistema eléctrico español.

Es por esto por lo que se ha podido observar cómo tecnologías como el carbón han pasado de representar el 40% del mix en los años 90 a representar un 1,6% a día de hoy. También tecnologías como la nuclear han sufrido un gran retroceso en su representación dentro del mix energético español pasando de representar un 35% en los años 90 a un 5,6% en 2024. A

diferencia del carbón, la energía nuclear si que es una energía limpia ya que su ciclo completo no afecta al equilibrio ecológico sin embargo sus residuos altamente radioactivos, la difícil manipulación y eliminación de estos y experiencias negativas pasadas como Chernóbil o Fukushima han hecho que desde distintos organismos gubernamentales se pretenda reducir al mínimo su presencia.

Con la reducción de la presencia de energías no renovables en el mix energético, España ha llevado a cabo una gran apuesta por la energía renovable aprovechando las grandes cualidades geográficas que tiene la península para el aprovechamiento de estas tecnologías y acompañado por una gran mejor en la eficiencia de estas tecnologías. En los años 90 la presencia de energías renovables era del 15% siendo la hidráulica la única con presencia en España. Ya en 2010 la presencia de las renovables era del 30% con la energía eólica y fotovoltaica ganando mayor presencia en el mix renovable. Y a día de hoy se ha conseguido alcanzar una potencia instalada renovable del 62,7%.

2.3 SITUACION FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

A día de hoy en España se tienen instalados un total de 27.215 MW de energía solar fotovoltaica siendo la región con mayor número de MW instalados la región de Extremadura con 6.410MW de potencia instalada seguida de cerca por Castilla la Mancha, con 6.134MW instalados. Ya el pasado 2023, se instaló en España la mayor cantidad de MW jamás instalados desde que se tiene registro, 5.594MW aumentado así un 28% el parque de generación fotovoltaica en España. Ese mismo año la energía solar fotovoltaica logró cubrir el 14% de la demanda nacional suponiendo así una generación total de 37.472 GWh siendo esta un 3,9% más que la generada en 2022, con 27.906 GWh.



Ilustración 3: Situación fotovoltaica en España.

A día de hoy en España la inversión en energía solar es grande ya que se cuenta con un generoso fondo de ayudas por parte del gobierno. Es así por lo que en 2024 está planteado destinar un total de 1320 millones de euros en fomentar el uso de energía solar. Esta cantidad de dinero se divide en seis programas según la instalación y consumidor. El objetivo de esta inversión es la de fomentarla instalación de energía solar y facilitar la creación de empleo a partir de estas instalaciones. Con este tipo de programas también se consigue el autoconsumo que es una función clave que permite la instalación de placas fotovoltaicas en sus consumidores y lo que permite un mayor aprovechamiento tanto de la energía como de la inversión realizada.

2.4 PLANES A FUTURO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

La energía fotovoltaica en España es una tecnología que no solo cuenta con un gran presente, sino que se perfila con un futuro aún más prometedor. La inversión en esta fuente de energía renovable es considerable en la actualidad y se prevé que continúe en aumento en los

próximos años. Este crecimiento se enmarca dentro del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), publicado el 20 de enero de 2020, que subraya la necesidad de incrementar la inversión en energías renovables, como la fotovoltaica y la eólica, con el objetivo de cumplir con los compromisos europeos de descarbonización.

El PNIEC establece proyecciones ambiciosas para la inversión y la capacidad instalada de energías renovables en España, sugiriendo que tanto el sector público como el privado incrementarán significativamente su inversión. En el caso específico de la energía fotovoltaica, el PNIEC preveía una capacidad instalada de 21.713 MW para 2025 y 39.181 MW para 2030. Sin embargo, estas previsiones ya han sido superadas, lo que evidencia el éxito de las inversiones en este sector en España. En el momento de la publicación del PNIEC, la capacidad instalada era de 8.752 MW, y debido a la rápida expansión, en junio de 2023 se publicó un borrador de actualización del PNIEC con nuevas previsiones más optimistas, que proyectan una capacidad instalada de 56.737 MW para 2025 y 76.387 MW para 2030.



Ilustración 4: PNIEC.

Además de la energía fotovoltaica, la energía eólica también jugará un papel crucial en el futuro de las energías renovables en España. Según el PNIEC 2020, la capacidad instalada

de energía eólica se proyectaba en 40.633 MW para 2025 y 50.333 MW para 2030. Sin embargo, el borrador de 2023 revisa al alza estas previsiones, estimando que para 2030 la capacidad instalada alcanzará los 62.044 MW. Este incremento subraya la importancia de la energía eólica como complemento a la fotovoltaica en el mix energético renovable del país.

El papel de la inversión privada será fundamental en el desarrollo de estas tecnologías. Según las previsiones del PNIEC, aproximadamente el 85% de la inversión necesaria para alcanzar los objetivos energéticos provendrá de fondos privados. Esto implica que la sociedad en su conjunto debe involucrarse activamente en los objetivos que respalda el PNIEC, ya sea a través de inversiones directas, apoyo a políticas públicas o la adopción de tecnologías renovables en sus propias viviendas y empresas. Aunque estas cifras representan un desafío considerable, el documento refleja la confianza en que se pueden alcanzar gracias a las importantes inversiones previstas, que se estiman en 117.600 millones de euros entre 2021 y 2030. Este crecimiento continuo no solo resalta el robusto presente de la energía fotovoltaica en España, sino que también subraya su papel central en el futuro panorama energético del país. A pesar de ser una tecnología ya bien establecida, la energía fotovoltaica sigue evolucionando, con constantes mejoras en eficiencia y rentabilidad.

Otro factor que refuerza la proyección favorable de las energías renovables es la reducción y eventual eliminación de otras fuentes de energía más nocivas para el medio ambiente. Un claro ejemplo de ello es el plan para el cierre de las centrales de carbón en España. En 2001, la capacidad instalada de centrales térmicas de carbón en el país era de 12.205 MW, pero esta cifra se ha reducido drásticamente a 2.061 MW en la actualidad. Para 2030, se prevé el cierre definitivo de las últimas centrales, como Aboño 2, Los Barrios y Soto de Ribera 3, consolidando la descarbonización de la energía en España.



Ilustración 5: Tecnologías a reducir.

De manera similar, la energía nuclear también se enfrenta a un proceso de desmantelamiento en España y en gran parte de Europa. Aunque la energía nuclear es considerada limpia durante su producción, los residuos radiactivos que genera presentan un desafío significativo. El 27 de diciembre de 2023, el Consejo de Ministros de España aprobó el 7º Plan General de Residuos Radiactivos, que incluye el cierre progresivo de las centrales nucleares entre 2027 y 2035, así como nuevas estrategias para el almacenamiento de residuos. Este plan contempla el cierre de la central de Trillo, la última en operación, en 2034, con una capacidad de 1003,4 MW, seguida de su desmantelamiento.

Con el fin de mitigar el efecto positivo que tiene la energía nuclear, que es la de proporcionar una fuente de energía fiable y constante, independientemente de las condiciones meteorológicas, a diferencia de las energías renovables como la solar o la eólica que son intermitentes, el PNIEC establece que España tendrá en todo momento disponible una potencia instalada de 26.612 MW. Esta medida se establece con el fin de poder usar esta potencia como reserva en caso de dificultades a la hora de generar energía por parte de las fuentes renovables ya que estas necesitan de ciertas condiciones meteorológicas. Al poder actuar estas centrales de punto, pueden conectarse y desconectarse del sistema según las variaciones de demanda con el fin de poder suplir la demanda en picos y desconectarse cuando no se requiera de su generación. Esto es una gran ventaja respecto a las nucleares que han de estar constantemente conectadas a la red para poder ser rentables y eficientes ya

que su proceso de arranque es muy costoso tanto técnica como económicamente lo que las convertiría en una tecnología poco eficiente con un coste demasiado elevado. Sin embargo, el combustible de las centrales de ciclo combinado, gas, es más costoso que el de las centrales nucleares por tanto es importante el correcto funcionamiento de las fuentes renovables y una mejora en su rendimiento con el fin de que esta transición sea realmente rentable tanto para el medioambiente como para los consumidores finales.

La energía fotovoltaica en España se encuentra en un momento de expansión y consolidación, impulsada por condiciones favorables, políticas de apoyo y una creciente conciencia ambiental. Las proyecciones de inversión y capacidad instalada reflejan un compromiso sólido hacia la transición energética y la descarbonización del país. En este contexto, la energía eólica también emerge como un pilar fundamental, con expectativas de crecimiento significativo en la próxima década. La participación del sector privado, que se espera financie la mayor parte de las inversiones necesarias, será crucial para alcanzar los ambiciosos objetivos del PNIEC. A medida que otras fuentes de energía, como el carbón y la nuclear, se retiran del mix energético, la fotovoltaica y la eólica están llamadas a desempeñar un papel protagonista en el futuro energético de España. La combinación de estos factores sugiere que las energías renovables no solo tienen un gran presente, sino que también están destinadas a ser la base de un futuro energético sostenible y eficiente.

2.5 RETOS Y DIFICULTADES DEL SISTEMA ELECTRICO ESPAÑOL

El sistema eléctrico español enfrenta retos importantes relacionados con la integración de energías renovables, la estabilidad del suministro y el alto costo de la energía, lo que plantea desafíos técnicos, económicos y regulatorios.

2.5.1 La eficiencia de los equipos utilizados.

Un gran inconveniente de la transición hacia las energías renovables es la baja eficiencia de los equipos utilizados. Si bien las plantas de energía nuclear tienen una enorme eficiencia,

las placas fotovoltaicas hoy en día utilizadas apenas tienen un 21% de índice de eficiencia llegando en el mejor de los casos y con la última tecnología en condiciones óptimas al 22,8%. Un caso similar, aunque algo mejor es el referido a los molinos de viento, cuya máxima eficiencia es de un 59% por la Ley de Betz, pero a día de hoy la mayoría de los aerogeneradores instalados en España tienen un índice de eficiencia de entre el 40 y 50%. Es por todo ello por lo que, para alcanzar los objetivos propuestos por el PNIEC, es esencial una mayor inversión en el desarrollo de estas tecnologías. Algo que con el paso de los años se ha ido logrando, pues las placas fotovoltaicas en sus inicios en España apenas alcanzaban un 6% de eficiencia y en 2010, el panel fotovoltaico promedio tenía una eficiencia máxima del 14,1%.



Ilustración 6: Eficiencia de los equipos.

2.5.2 Vertido eléctrico y los sistemas de almacenamiento.

A día de hoy, con el asentamiento de las energías renovables surge una gran amenaza que pone en jaque el futuro de estas tecnologías, el almacenamiento. A pesar de aportar en España a día de hoy más del 50% de la energía que se consume, las fuentes de energía

renovable en 2023 desperdiciaron más de 134.321 GWh debido al tapón de las actuales redes de transporte.

Este problema surge a raíz de que las redes de transporte no se han desarrollado a la misma velocidad que las tecnologías de energías renovables y es por este motivo por lo que a pesar de la alta producción por parte de estas fuentes hay un cierto límite a partir del cual estas redes no consiguen transportar mayor cantidad de energía y surge el conocido ‘vertido eléctrico’.



Ilustración 7: Redes eléctricas.

Como solución a este problema surgen los sistemas de almacenamiento, sin embargo, el alto precio de estos y la baja rentabilidad de estos equipos debido a su mantenimiento y la falta de subvenciones por el almacenamiento de energía hacen que la implementación de estos equipos con el fin de aprovechar la energía renovable producida al 100% sea una realidad lejana a día de hoy.



Ilustración 8: Sistema de almacenamiento de energía.

Con el fin de remediar el problema surgen los sistemas de pagos por capacidad. Este sistema permitiría a los propietarios de estos sistemas de almacenamiento el poder recibir unos ingresos de manera fija por tener disponible en todo momento una cierta cantidad para almacenar energía con el fin de garantizar el suministro en todo momento y reducir así el vertido. A pesar de ello, hoy en día en España está lejos de tener este sistema que otros países del ámbito europeo como Gran Bretaña y Francia sí que disponen. Hasta el día de hoy el Ministerio de Transición Ecológica solo ha publicado ciertos borradores con el contenido de la idea de creación de estos sistemas que son tan necesarios para poder cumplir con el desarrollo de la energía renovable en España. Tal es la relevancia que tienen estos sistemas de almacenamiento en el correcto desarrollo e implantación de las energías renovables en España, que el PNIEC refleja que se necesitaría disponer de 10GW de almacenamiento para 2030.

2.5.3 Dependencia de las condiciones meteorológicas.

A pesar de ser un gran inconveniente conocido no deja de tener gran relevancia la alta dependencia de las fuentes de energías renovables como la eólica o la fotovoltaica de las

situaciones meteorológicas. Es por ello por lo que ya en el PNIEC se subraya la necesidad de tener una gran cantidad de almacenamiento disponible y una potencia instalada de 26 GW en centrales de ciclo combinado ya que, de no ser así, este cambio en el paradigma del sistema eléctrico español provocaría un precio de la luz mucho más volátil y menos accesible con cortes en los suministros.

2.5.4 Caída del consumo con los años.

En los últimos en España se ha experimentado un despliegue masivo de plantas de generación eléctrica debido a los grandes incentivos por parte de la administración pública para llevar a cabo estos proyectos siendo la mayoría relacionados con energías renovables. Tal es así que ya en el pasado año, 2023, se consiguió por primera vez en la historia del sistema eléctrico español suplir más de la mitad de la demanda mediante fuentes de energía renovable.

Sin embargo, a pesar del gran esfuerzo por parte de fondos privados como de los organismos gubernamentales la caída de la demanda en España es algo que amenaza la ampliación del campo eléctrico renovable en España. Mientras que el parque de generación en España no deja de aumentar con cifras récord en instalación de potencia en tecnologías como la fotovoltaica o la eólica, la demanda se ha venido desplomando durante estos últimos años a mínimos históricos. A día de hoy la demanda eléctrica en España está a niveles de principios de siglo y por la tendencia que lleva siguiendo estos años pasados nada hace pensar que esta curva tendencial vaya a cambiar. Esto a provocado una gran alarma en el sector pues numerosos proyectos que se están llevando a cabo y genera grandes dudas en los inversores futuros que se replantean la viabilidad de sus proyectos.

Capítulo 3. ESTUDIO DEL ENTORNO

3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA

La localización elegida para el desarrollo del proyecto es Motilla del Palancar, un pequeño municipio situado en Castilla la Mancha, más concretamente al sur de la provincia de Cuenca y cuenta con 6.119 habitantes.

Su ubicación en la Meseta Central le confiere a Motilla del Palancar un terreno predominantemente plano, ideal para la instalación de campos fotovoltaicos, ya que facilita la colocación de paneles solares.

Además, gracias a la Estrategia Regional Frente a la Despoblación impulsada por la Junta de Castilla-La Mancha, Motilla del Palancar se sitúa en una región con nivel de riesgo de despoblación calificado como ‘Intensa Despoblación’ lo que se refleja en una gran cantidad de ayudas que detallo a continuación:

- Aumento en la intensidad de las ayudas: Se pueden obtener incrementos en la intensidad de las subvenciones, con un incremento del 20% en el caso de proyectos desarrollados en municipios con más de 2.000 habitantes como Motilla del Palancar.
- Reserva de fondos: Un mínimo del 30% del crédito total de las convocatorias de ayudas está reservado para proyectos que se desarrollen en zonas en riesgo o en intensa despoblación. Esto asegura una mayor probabilidad de obtener financiación.
- Puntuación adicional en concurrencia competitiva: En los procesos de concurrencia para acceder a subvenciones, los proyectos ubicados en zonas de despoblación reciben una puntuación adicional, que en el caso de Motilla del Palancar llega al 20% sobre el total, lo que mejora las posibilidades de obtener los fondos.

A la hora de elegir la ubicación del parque solar fotovoltaico habrá que tener muy en cuenta elegir una zona cuya accesibilidad sea sencilla con el fin de facilitar las tareas de

construcción y mantenimiento de la planta. Es por ello por lo que se buscará una zona medianamente bien comunicada que cuente con carretera o con un camino lo suficientemente hábil para poder permitir la entrada del personal y maquinaria necesaria para la construcción, operación y mantenimiento de la planta. A continuación, se detalla la ubicación donde se quiere llevar a cabo el proyecto:



Ilustración 9: Localización del parque fotovoltaico.



Ilustración 10: Perímetro y área disponible para la instalación.

La zona indicada en naranja es la zona donde se ha pensado llevar a cabo el proyecto. Esta zona tiene un área total de unos 334.809 m² que traducido a hectáreas supondrían un total de 33,48ha. Se puede observar cómo la zona escogida cuenta con numerosos accesos y cuenta con una gran cercanía al municipio, lo que será el punto de consumo.

Esta es una de las grandes ventajas que nos aporta la tecnología fotovoltaica ya que a diferencia de otras tecnologías cuyas fuentes de generación han de estar cercanas a sus fuentes de materia prima o lejos de la población, la materia prima de la energía solar se encuentra en todos los puntos de la tierra con mayor o menor intensidad y por tanto esto permite una mayor eficiencia al poder acercar la estación de generación al unto de consumo

Como se puede observar a continuación, el terreno escogido es una zona con ausencia de desniveles y bien comunicado con un acceso cómodo a través de la carretera CM-220.



Ilustración 11: Accesos a la zona seleccionada.

3.2 CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR

Motilla del Palancar cuenta con condiciones climáticas favorables para la instalación de paneles fotovoltaicos. La región disfruta de un elevado número de horas de sol al año, lo que garantiza una alta captación de energía solar. Con veranos largos y cálidos y cielos generalmente despejados, la eficiencia de los paneles se optimiza, permitiendo un rendimiento energético considerable. Además, las precipitaciones son moderadas y concentradas en ciertas épocas del año, lo que minimiza el impacto de nubosidad y asegura un suministro solar constante durante la mayor parte del año.

A lo largo del año, los días despejados y nublados en Motilla del Palancar varían considerablemente según la temporada y el mes del año en el que nos encontremos. En diciembre suele haber la mitad de los 31 días del un cielo mayormente nublado que dificultaría mucho la producción de energía fotovoltaica mientras que en el mes julio raramente suele haber algún día nublado siendo el máximo de 3 días nublados durante el mes.

De media a lo largo del año se suelen tener un 61,6% de los días mayormente despejados, o lo que viene a ser 225 días de sol al año lo que es una muy buena cifra de cara a la producción de energía a partir de la luz solar.

En Motilla del Palancar se tiene de media unas 12,183 horas de sol al año sin tener en cuenta días nublados. El mes con mayor número de horas de sol es junio con 14,9 horas de sol y el de menos luminosidad solar es diciembre con 9,4 horas de sol en ese mes.

De cara a la producción de energía lo que más importará respecto a la localización del municipio será la irradiación solar que viene a ser la potencia de la radiación solar por unidad de área.

Esta localidad cuenta con uno de los índices de irradiación más altos de España llegando en las épocas más cálidas del año a niveles de UV de 8 o 9 cuando el mayor número en la escala UV es de 11 que indica riesgo extremo. Esto se refleja en que Motilla del Palancar es uno de los municipios en España. Traducido a magnitudes energéticas, la irradiación solar media anual en Motilla del Palancar se estima en aproximadamente 1,600 a 1,800 kWh/m² (1.6 a 1.8 MWh/m²) al año. Este valor representa la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie horizontal a lo largo de un año.

Capítulo 4. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR

4.1 HISTORIA DE LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar fotovoltaica ha experimentado una evolución notable desde sus primeras observaciones hasta convertirse en una de las principales fuentes de energía renovable en el mundo actual. La historia de esta tecnología comenzó en el siglo XVIII, cuando Horace-Benedict de Saussure, un científico suizo, construyó la primera "célula colectora solar" en 1767, utilizando una caja aislada con vidrio para captar y magnificar el calor solar. Aunque este descubrimiento se centraba en el calor y no en la generación de electricidad, sentó las bases para futuros avances.

El verdadero hito en la energía solar fotovoltaica llegó en 1839, cuando el científico francés Edmond Becquerel definió por primera vez el efecto fotovoltaico, descubriendo que la luz podía aumentar la corriente eléctrica en una célula electrolítica. Este descubrimiento fue crucial, pero no fue hasta 1876 que Willoughby Smith observó el efecto de la luz sobre el selenio, lo que llevó a Charles Fritts a crear en 1883 la primera célula fotovoltaica de estado sólido, aunque con una eficiencia de solo el 1%.

A lo largo del siglo XX, el foco de los científicos estuvo en aumentar la eficiencia de las células fotovoltaicas. En 1953, Gerald Pearson, trabajando en los Laboratorios Bell, creó accidentalmente una célula de silicio mucho más eficiente que las anteriores, lo que llevó a un avance significativo. Este desarrollo, perfeccionado por sus colegas Daryl Chaplin y Calvin Fuller, marcó el inicio de las aplicaciones prácticas de la energía solar fotovoltaica, aunque los costos seguían siendo prohibitivos.

La carrera espacial de la década de 1950 ofreció el primer impulso importante para la energía solar fotovoltaica. La NASA necesitaba una fuente de energía confiable para sus satélites, y los paneles solares demostraron ser superiores a las baterías químicas y la energía nuclear debido a su durabilidad y fiabilidad. En 1958, el satélite Vanguard I se convirtió en el

primero en utilizar paneles solares, lo que confirmó su potencial y aceleró el desarrollo de esta tecnología.

Durante las décadas siguientes, se lograron avances significativos en la eficiencia y reducción de costos. En los años 70, la energía solar comenzó a encontrar aplicaciones comerciales en dispositivos como calculadoras y pequeños paneles para techos. A medida que mejoraba la eficiencia energética, su uso se extendió a zonas rurales y urbanas, y en los años 80, se construyeron las primeras plantas fotovoltaicas a gran escala, como la planta de Hisperia en California de 1,1 MW en su inicio.

La década de 1990 trajo más innovación, con el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos desarrollando células solares que superaban el 30% de eficiencia. Este avance permitió la integración de la energía solar en aplicaciones más grandes y complejas, incluyendo rascacielos y proyectos de infraestructura.

El nuevo milenio vio un aumento masivo en la capacidad de producción y en la adopción global de la energía solar fotovoltaica. Proyectos de gran escala, como la planta solar de Golmud en China con una potencia de 500MW y el Parque Solar del Desierto de Tengger con 1.547MW de potencia instalada y conectada a la red, reflejan cómo la energía solar ha pasado de ser una tecnología emergente a una solución viable y escalable para la generación de electricidad

Hoy en día, la energía solar fotovoltaica es una de las principales herramientas en la lucha contra el cambio climático y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. La continua inversión en investigación y desarrollo ha llevado a una disminución constante de los costos y a una mayor adopción en todo el mundo, haciendo de la energía solar una pieza fundamental en el futuro energético global.

4.2 TRAYECTORIA DE LA ENERGÍA SOLAR EN ESPAÑA

España, con una de las mayores cantidades de horas de sol en Europa, ha visto un crecimiento significativo en la energía solar, impulsado tanto por su abundante recurso solar como por

la necesidad de reducir la dependencia energética exterior. La historia de la energía fotovoltaica en el país se remonta a 1984, cuando Iberdrola instaló en San Agustín de Guadalix la primera planta fotovoltaica conectada a la red, con una capacidad de 100 kWp. Finalmente, numerosas empresas, municipios e individuales se sumaron a la iniciativa solar y para finales de 1995, la potencia instalada total en España era de aproximadamente 1,6 MW.

A pesar de este progreso inicial, la energía fotovoltaica permaneció en el ámbito de la investigación y no se integró de manera significativa en el sistema eléctrico general hasta la publicación del RD 2818/1998, que introdujo primas de 60 y 30 pesetas por kWh para sistemas de menor y mayor potencia, respectivamente. Este decreto fue un primer paso para alinear a España con otras iniciativas europeas en energías renovables.

En los años siguientes, la legislación continuó evolucionando. En 2000, el RD 1663 estableció condiciones técnicas y administrativas que facilitaron la integración de la energía fotovoltaica en el sistema eléctrico español. A pesar de estos incentivos, para 2004, la fotovoltaica aún representaba una pequeña parte del mix energético renovable, que en conjunto solo cubría el 6,5% del consumo de energía primaria. Sin embargo, el objetivo nacional para 2010 era que las renovables alcanzaran al menos el 12% del consumo de energía primaria, con una meta de 400 MW de potencia fotovoltaica.

El desarrollo de la fotovoltaica en España enfrentó múltiples cambios legislativos en un corto período de tiempo. En 2004, el sistema de primas fue sustituido por un abono basado en un porcentaje sobre la Tarifa Media de Referencia (TMR), y en 2007 se introdujeron tarifas reguladas fijas. Este último cambio favoreció especialmente a las grandes instalaciones, lo que provocó un auge en la inversión y un incremento masivo de la capacidad instalada. En solo dos años, la potencia instalada se multiplicó por 27, superando la producción de energía hidroeléctrica por bombeo puro.

Este crecimiento, sin embargo, se vio frenado por la crisis económica, aunque incluso en ese período, la energía solar continuó creciendo, posicionándose como la segunda fuente renovable con mayor incremento en capacidad instalada. Tras la crisis, la energía

fotovoltaica siguió expandiéndose, aunque enfrentó desafíos significativos, como el impuesto del 7% sobre la generación introducido en 2013, y el "impuesto al sol" en 2015, ambos eliminados en 2018.

4.3 FUNCIONAMIENTO HASTA LA OBTENCIÓN DE LA ENERGÍA

Inicialmente los paneles fotovoltaicos reciben el impacto directo de la luz solar cuya irradiación provoca que los fotones golpeen las células fotovoltaicas haciendo que estas, al estar constituidas por silicio que es un material semiconductor, facilite que los electrones sean liberados de sus átomos y se muevan a través del panel semiconductor.

Tras ello se genera un flujo de corriente eléctrica por la placa debido al movimiento de los numerosos electrones liberados por la superficie semiconductor de la placa. Es por ello por lo que a mayor cantidad de luz que incida sobre la placa, mayor número de fotones impactaran sobre la superficie liberando mayor número de electrones y creando un flujo eléctrico cada vez mayor.

La energía producida por la placa fotovoltaica es de corriente continua. Sin embargo, la mayoría de los dispositivos y sistemas comúnmente utilizados se alimentan de corriente alterna por tanto acostumbra a ser necesario el uso de un inversor con el fin de conseguir energía verdaderamente útil a partir de nuestra planta fotovoltaica.

4.4 TIPOS DE INSTALACIONES Y SUS COMPONENTES BÁSICOS

Independientemente de los tipos de instalaciones fotovoltaicas que nos podemos encontrar, hay ciertos elementos que siempre encontraremos en toda planta fotovoltaica como pueden ser los paneles solares y los inversores. El panel solar utilizado en una planta fotovoltaica dependerá de varios factores como el presupuesto, la demanda o el objetivo de generación que se tenga a la hora de llevar a cabo la instalación, al igual que el inversor, que también

dependerá en buena parte de estos factores. Es por todo ello por lo que el previo dimensionamiento de la instalación que se quiere llevar a cabo cobra una gran importancia a la hora de decantarse por uno de los varios tipos de paneles o inversores que podemos encontrar hoy en día en el mercado.

En la energía fotovoltaica nos encontramos con distintos tipos de instalaciones fotovoltaicas dependiendo de si estas, están o no conectadas a la red.

4.4.1 Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a la red

En este tipo de instalaciones encontramos dos tipos de instalación, aquellas destinadas al autoconsumo cuyo principal objetivo es la de poder abastecer a un individual o una comunidad de vecinos o empresa y cuyos excedentes pueden ser vertidos a la red eléctrica a cambio de una compensación económica por parte de la compañía eléctrica. Y las destinadas a la producción de energía solar a gran escala, como en la que se basará este proyecto. Con el principal y único objetivo de verter toda la energía producida a la red para el abastecimiento de la población a gran escala con el fin de obtener una importante compensación económica y facilitar el acceso a una fuente de energía fiable y limpia a los habitantes de la zona en la que está instalada.

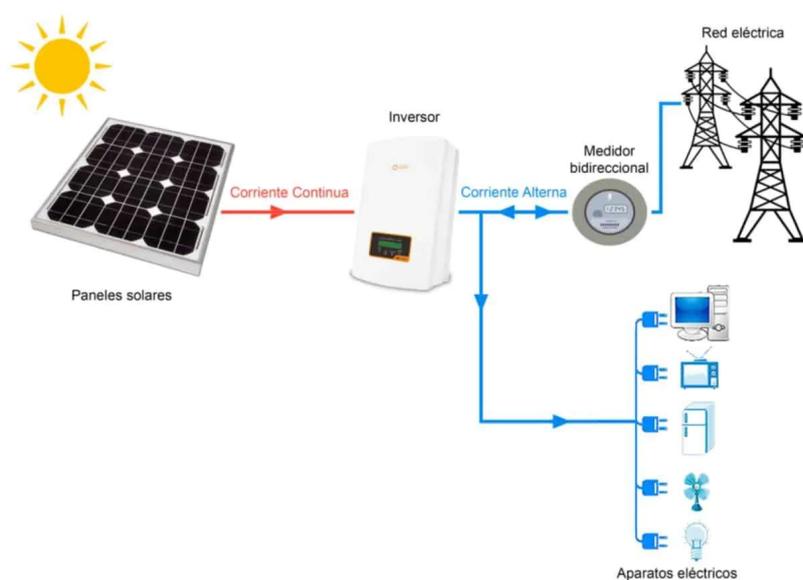


Ilustración 12: Instalación fotovoltaica conectada a la red.

En las instalaciones denominadas de ‘autoconsumo’, se acostumbra a tener disponibles un sistema de baterías ya que a pesar de tener acceso a la red eléctrica en caso de que fuese necesario, acostumbra a ser una opción menos rentable que el aprovechamiento de la energía almacenada en el sistema de baterías aun con el coste de estas y su complejo mantenimiento. Además, en caso de que las baterías estuviesen al máximo de su capacidad y no fuese necesario descargarlas para el uso del propietario de la instalación, se puede verter su energía almacenada a la red con el fin de aprovechar económicamente esa reserva energética.

En aquellas instalaciones más destinadas a la producción de energía a gran escala con el fin de verterlo todo a la red, cobran una mayor importancia los sistemas de protección y aislamiento. Estos sistemas son clave a la hora de proteger a las personas y equipos que se ven involucrados en la actividad de la planta pues un fallo eléctrico podría producir grandes daños a las personas que manipules estos equipos o a los propios equipos. El tipo de protección y su conexionado varía según el dimensionamiento de la planta por ello es muy importante un correcto dimensionado para poder llevar a cabo una correcta protección de la planta con el fin de asegurar que la gran inversión que requiere una planta fotovoltaica no se eche a perder.

4.4.2 Instalaciones Fotovoltaicas Aisladas de la red

Son un tipo de instalaciones fotovoltaicas destinadas a viviendas o negocios que se encuentran ubicadas lejos de núcleos urbanos con un difícil o nulo acceso a la red eléctrica convencional o que acostumbran a sufrir cortes de luz por su difícil ubicación. En este tipo de instalaciones siempre se dispone de un sistema de baterías con el fin de almacenar la mayor cantidad de energía pues a diferencia de las instalaciones conectadas a la red, no está previsto una posible conexión a la red eléctrica en caso de un día nublado o de generación especialmente baja con el fin de cubrir aquellas necesidades básicas que se den el lugar de la instalación.



Ilustración 13: Instalación fotovoltaica aislada de la red.

Capítulo 5. MARCO REGULATORIO PARA LA ENERGÍA SOLAR EN ESPAÑA

Referente al marco regulatorio, hay numerosas leyes y reales decretos que afectan a la energía solar y por tanto habrá que tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el proyecto. Las principales leyes que a día de hoy regulan el sector de la energía fotovoltaica en España serían:

- **Ley 24/2013, de 26 de diciembre:**

Mediante esta ley se trata de establecer unas bases legales para abordar la producción, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica en España. La gran importancia de esta ley, referida al proyecto, reside en que define el entorno en el que operan todas las instalaciones de generación eléctrica, incluida la planta fotovoltaica que atañe este proyecto.

- **Real Decreto-ley 15/2018:**

Real Decreto de gran relevancia ya que supuso la derogación del conocido “impuesto al sol”. Este impuesto gravaba los ingresos obtenidos mediante el uso de instalaciones fotovoltaicas, lo que provocaba un gran desincentivo tanto en la inversión en proyectos relacionados con la energía solar como en los consumidores. Mediante la aprobación de este Real Decreto se produjo una revitalización del sector fotovoltaico en España, algo que fue clave para el avance y asentamiento de esta tecnología en nuestro país.

- **Real Decreto 1183/2020:**

Con la imposición de este Real Decreto se lleva a cabo una nueva regulación sobre el acceso y conexión a las redes de transporte y distribución eléctrica. Este Real Decreto supuso la creación en España de un proceso mucho más sencillo y flexible para el acceso de las instalaciones renovables como las fotovoltaicas a la red.

- **Ley 7/2021:**

Ley mediante la cual se impuso las bases regulatorias referentes a todo el proceso de lucha contra el cambio climático que se está llevando a cabo en España. En el contenido de esta ley se incluyen los objetivos y principios a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo la planificación y ejecución de proyectos renovables.

Mas referido con la instalación del parque fotovoltaico del que trata de llevar a cabo este proyecto, hay normativa más específica que sería interesante resaltar:

- **Ley 2/2021:**

Ley impulsada por la Junta de Castilla la Mancha con el fin de luchar contra la despoblación que sufren numerosos municipios de las distintas regiones de esta comunidad. Mediante esta ley se impulsan numerosas medidas administrativas, económicas y sociales con el fin de incentivar la repoblación de numerosos pueblos de Castilla la Mancha.

Para el desarrollo del proyecto esta ley juega un papel importante pues aporta distintos beneficios sociales, económicos y tributarios al proyecto al desarrollarse en una zona de extrema despoblación.

- **Real Decreto 1955/2000:**

A través de este Real Decreto se establece una serie de criterios administrativos que rigen el proceso de autorización para la instalación de centrales de generación de energía eléctrica como es el caso del parque solar fotovoltaico que se trata de llevar a cabo. Es por ello por lo que es crucial llevar a cabo correctamente los procedimientos descritos en este Real Decreto para obtener los permisos de construcción y operación del parque eléctrico.

Capítulo 6. VIABILIDAD TÉCNICA

6.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA

De cara a llevar a cabo los cálculos referentes a la planta, en primera instancia necesitaremos saber la demanda a suplir por parte de la planta. Es por ello por lo que se llevará a cabo una estimación de la potencia consumida por el término municipal de Motilla del Palancar.

Inicialmente el objetivo principal de la planta será el de poder abastecer de electricidad el municipio mediante la generación fotovoltaica. Sin embargo, más adelante si por motivos económicos fuese necesario se podría ampliar este dimensionamiento. En todo momento se tiene consciencia de que inyectando la energía producida a la red no se abastecerá íntegramente al municipio sino que la gestión de esta inyección de energía la lleva a cabo el operador del sistema eléctrico, en este caso Red Eléctrica.

Mediante los datos que se encuentran en la Junta de Castilla la Mancha, he podido tener acceso a los datos de consumo eléctrico en MWh referentes a la provincia de Cuenca durante el año 2023 desglosado mensualmente.

	Cuenca (MWh)	
	Enero	105.869,3
	Febrero	74.139,06
	Marzo	71.787,97
	Abril	54.772,29
	Mayo	69.276,96

2023	Junio	83.348,33
	Julio	73.210,26
	Agosto	84.217,83
	Septiembre	83.544,25
	Octubre	73.421,06
	Noviembre	75.587,79
	Diciembre	98.372,96

Tabla 2: Demanda en la provincia de Cuenca en 2023 en MWh.

Teniendo en cuenta que la población de la provincia de Cuenca es de unos 198.730 habitantes (actualizado a Abril 2024) y que la población de Motilla del Palancar es de unos 6.168 habitantes (actualizado a Junio 2024), esto supondría que Motilla de Palancar supone el 3,1% de los habitantes de la provincia de Cuenca. Es por ello por lo que, a la hora de estimar la potencia demandada por el municipio, se estimara el 3,1% de la potencia demandada por la provincia. Los resultados de esta estimación resultarían en:

	Demanda de Motilla del Palancar (MWh)	
	Enero	3.281,95
	Febrero	2.298,31
	Marzo	2.225,43
	Abril	1.697,94

2023	Mayo	2.147,59
	Junio	2.583,78
	Julio	2.269,52
	Agosto	2.610,75
	Septiembre	2.589,87
	Octubre	2.276,05
	Noviembre	2.343,22
	Diciembre	3.049,56

Tabla 3: Demanda en Motilla del Palancar en 2023 (MWh).

Por tanto, mediante las estimaciones realizadas, se puede extraer de los datos presentados que la demanda media a lo largo del año será de 2.447,83 MWh siendo sus puntos de mayor demanda durante los meses fríos del año como puede ser Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero.

Con el fin de asegurar la cobertura de la demanda a lo largo del año, el dimensionamiento de la planta se planteará para poder producir toda la potencia necesaria cubriendo picos durante el mes de mayor demanda de manera que en resto de meses, la energía sobrante pueda ser vertida a la red al igual que si durante el mes de mayor demanda fuese posible también se produciría este vertido.

Por la actual tendencia de la demanda eléctrica en España, se espera que la demanda en Motilla del Palancar decaiga al mismo ritmo o mayor que el que sufre la demanda eléctrica a nivel nacional por lo que no sería necesaria sobredimensionar la planta por posibles futuros

aumentos de demanda ya que durante los últimos años la demanda eléctrica en España a caído a niveles de principios de siglo.

Como se ha comentado la planta se diseñará con el fin de poder suplir con energía fotovoltaica el mes de mayor demanda. Este mes será, por los datos recogidos en 2023, Diciembre con un total de 3,05GWh. Para dimensionar la potencia total de la instalación se va a emplear la siguiente fórmula:

$$P = \frac{E}{PR * \frac{Ir}{1000}}$$

Siendo los parámetros anteriormente representados los siguiente:

E: Representa la energía demandada en MWh

PR: El conocido como Performance Ratio, el cual es un ratio basada en la eficiencia obtenida por la planta fotovoltaica.

Ir: Irradiación solar de la zona estudiada en kWh.



Ilustración 14: Mapa de irradiación solar en España.

Respecto a la irradiación solar, los datos recogidos para Motilla del Palancar son los referentes a 2020 mediante el programa PVGIS que genera simulaciones con el fin de estudiar la viabilidad y las posibles opciones que surgen a la hora de llevar a cabo el dimensionamiento de una planta solar. La irradiación que recibirán los paneles solares viene dada en kWh/m² y aporta dos posibles opciones según la disposición de los paneles solares. Esta disposición puede ser horizontal o una inclinación óptima de los paneles solares:

	Irradiación solar en Motilla del Palancar (kWh/m ²)		
	Meses	Horizontal	Inclinación Óptima
	Enero	69,31	122,88

2020	Febrero	111,17	173,7
	Marzo	111,09	134,7
	Abril	150,68	159,39
	Mayo	209,96	201,81
	Junio	228,96	210,04
	Julio	236,35	222,11
	Agosto	220,44	228,88
	Septiembre	158,41	187,76
	Octubre	124,6	178,36
	Noviembre	78,97	133,49
	Diciembre	70,43	135,28

Tabla 4: Irradiación solar en Motilla del Palancar en 2020 (kWh/m²).

Viendo los datos recogidos, lo más eficiente para conseguir mayor energía será optar por un sistema de seguimiento para los paneles solares con el fin de que estos tengan la inclinación óptima. A pesar de suponer un coste extra en la instalación supondrá una mayor obtención de energía por panel lo que podrá suponer un menor número de paneles solares y por tanto un ahorro económico mayora la hora de seleccionar el número de paneles solares a utilizar.

Siguiendo con los cálculos anteriores, con relación al cálculo del performance ratio (PR), el cálculo llevado a cabo sería

$$PR = N_{Inversor} * N_{temperatura} * N_{cables} * N_{suciedad}$$

Al estar todos los valores relacionados con la eficiencia y ser una planta dimensionada sin referencia de ningún proyecto previa en la zona a estudiar se usará un valor común para este tipo de ratios.

El valor máximo en este tipo de instalaciones suele rondar el 80%, por tanto, en este proyecto se usará el 73% de coeficiente de rendimiento ya que 80% serian unas condiciones óptimas que al estar dimensionalizando el proyecto y no tener referencias del terreno no podríamos verificar.

A la hora de llevar a cabo el cálculo de la potencia necesaria de la planta necesitaremos fijar un valor de energía demandada por el municipio y un valor de irradiación solar. Con el fin de asegurarnos que en todo momento la planta podrá abastecer al municipio hasta en las situaciones más críticas, seleccionaremos el caso más extremo en el que exista una mayor demanda y una menor irradiación solar.

Para ello se generará una tabla en la cual se calculará por la formula anterior la potencia pico en kWp para cada mes y el dimensionamiento de la planta se hará en base a los datos del mes con mayor kWp pues es el mes que más tendrá que producir la planta bajo las peores condiciones de generación posibles:

Motilla del Palancar			
Meses	Demanda (kWh)	Irradiación (kWh/m ²)	Potencia (kWp)
Enero	3.281.950	122,88	36.587,092
Febrero	2.298.310	173,7	18.125,330
Marzo	2.225.430	134,7	22.632,029
Abril	1.697.940	159,39	14.592,793

Mayo	2.147.590	201,81	14.577,593
Junio	2.583.780	210,04	16.851,193
Julio	2.269.520	222,11	13.997,260
Agosto	2.610.750	228,88	15.625,524
Septiembre	2.589.870	187,76	18.895,223
Octubre	2.276.050	178,36	17.480,807
Noviembre	2.343.220	133,49	24.045,924
Diciembre	3.049.560	135,28	30.880,244

Tabla 5: Demanda, Irradiación y potencia pico en Motilla del Palancar.

Observando los datos obtenidos en la tabla, se optará por el dimensionamiento de la planta llevada a cabo para poder abastecer el municipio de manera íntegra con energía fotovoltaica en Enero

- $E=3.281,95 \text{ MWh}=3.281.950\text{kWh}$
- $PR=0,73$
- $I_r=122,88 \text{ kWh}$

$$\bullet P = \frac{E}{PR * \frac{I_r}{1000}} = \frac{3.281.950}{0,73 * \frac{122,8}{1000}} = 36.587,09 \text{ kWp}$$

Por ello el valor de potencia a instalar en la planta fotovoltaica será de 36.587,09 kWp. No hay que olvidar que esto será la potencia pico que podrá generar la planta solar bajo condiciones óptimas de generación en la que influyen temperatura, iluminación y demás condicionantes.

6.2 DISEÑO DEL SISTEMA

6.2.1 ELECCIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

A la hora de dimensionar la planta será muy importante el tipo de panel solar fotovoltaico a instalar ya que hay distintos tipos de paneles y las propiedades de uno a otro varían en gran manera. Grosso modo, se puede distinguir tres principales tipos de paneles solares en el mercado fotovoltaico:

- **Paneles Monocristalinos**

Están hechos de un solo cristal de silicio, lo que les confiere una alta eficiencia de conversión energética (entre 15% y 22%) y una apariencia uniforme de color negro. Son eficientes en condiciones de poca luz y altas temperaturas, pero suelen ser más costosos debido a su proceso de fabricación.

- **Paneles Policristalinos**

Fabricados a partir de múltiples cristales de silicio, estos paneles tienen una eficiencia ligeramente menor (entre 13% y 17%) y un aspecto azul vetado. Son más económicos de producir que los monocristalinos, aunque menos eficientes en condiciones extremas.

- **Paneles de Silicio Amorfo**

Estos paneles son de película delgada y están hechos de silicio amorfo u otros materiales, como telurio de cadmio o di seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS). Tienen una eficiencia más baja (alrededor del 10%), pero son flexibles, ligeros y funcionan bien en condiciones de poca luz o en aplicaciones que requieren paneles flexibles.

En cuanto a las condiciones de temperatura, se considerará temperatura alta cuando esta sea superior a los 25°C generalmente. Es a partir de esta temperatura cuando generalmente el

rendimiento de los paneles fotovoltaicos disminuye. La temperatura media mensual en el término municipal de Motilla del Palancar durante el año 2023 fue la siguiente:

2023	Temperatura en Motilla del Palancar (°C)	
	Enero	4
	Febrero	5
	Marzo	8
	Abril	11
	Mayo	15
	Junio	20
	Julio	23
	Agosto	23
	Septiembre	19
	Octubre	13
	Noviembre	8
	Diciembre	4

Tabla 6: Temperatura en Motilla del Palancar en 2023 (°C).

Por los datos recogidos, la temperatura no ha de ser un gran condicionante a la hora de escoger un tipo u otro de panel. A pesar de que, durante la temporada cálida, de Mayo a

Septiembre, sí que se puedan alcanzar temperaturas superiores a los 25°C, generalmente un panel fotovoltaico como el monocristalino o el policristalino aguantará de manera correcta dichas temperaturas que en casos extremos como en verano, puedan rondar los 40°C.

A vista de que los paneles solares no serán sometidos a condiciones extremas de temperatura y teniendo en cuenta el factor económico, se escogerán los tipos de paneles solares fotovoltaicos policristalinos ya que la diferencia de rendimiento generalmente no supondrá una gran pérdida y la diferencia económica entre ambos paneles es mayor que la técnica.

A la hora de instalar los paneles surgen tres posibles opciones referidos al montaje. Como ya se ha decidido anteriormente, el montaje de los paneles a utilizar será de un sistema de seguimiento, sin embargo, hay dos tipos de sistemas de seguimiento según el número de ejes y su inclinación:

1. Sistema de seguimiento solar en un eje

Este sistema permite al panel moverse de este a oeste, siguiendo al sol desde la salida hasta la puesta de sol. Estos sistemas presentan un menor coste, mayor simplicidad, pero realizan un seguimiento solar menos preciso captando menos energía.

2. Sistema de seguimiento solar en dos ejes

Este tipo de sistemas están diseñados para maximizar la producción de energía durante todo el año. Pueden variar la orientación según la estación, además de seguir al sol durante el día. Por lo tanto, cuentan con un seguimiento solar más preciso que los de un eje, con mayores rendimientos, sin embargo, suponen un mayor coste.

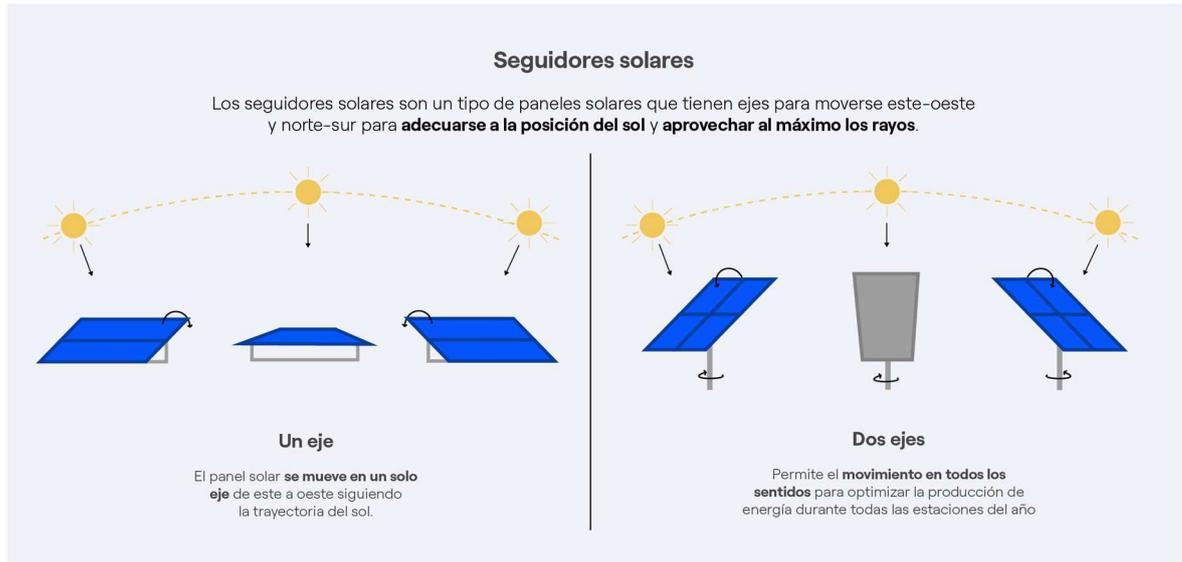
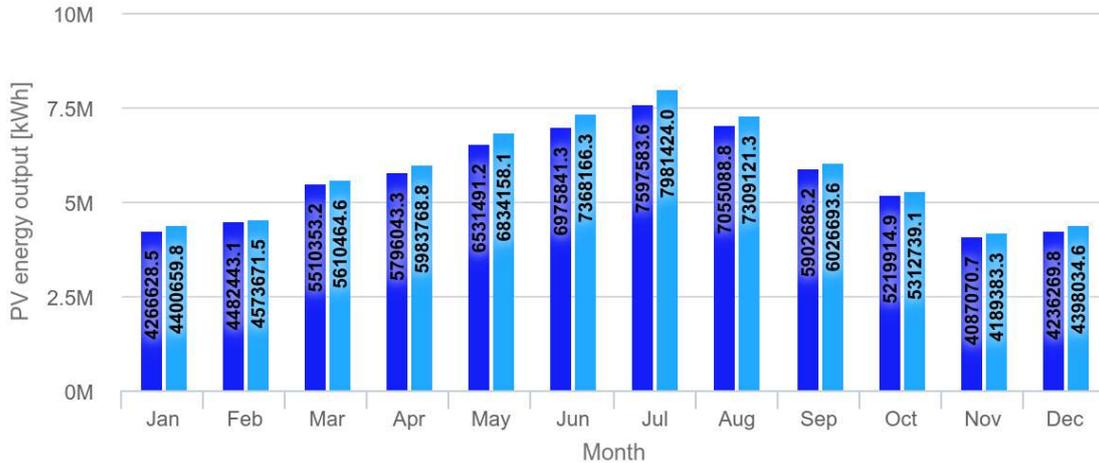


Ilustración 15: Sistemas de seguimiento solar.

A la hora de decantarnos por una opción o por otra, se ha llevado a cabo una simulación en PVGIS para poder obtener resultados de que opción sería la más efectiva con el fin de obtener energía eléctrica. Sobre la inclinación respecto al suelo que se les aplicaría a los paneles con seguimiento solar en un eje, se ha escogido la inclinación óptima que el mismo simulador la calcula para maximizar la producción de energía eléctrica. Otro aspecto para considerar es que el simulador no distingue entre paneles solares fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos, por ello, al haber seleccionado para el proyecto los paneles policristalinos habrá que considerar una ligera disminución en la producción que muestre la simulación. Los resultados que arroja la simulación son los siguientes:

Monthly energy output from tracking PV system

(C) PVGIS, 2024



Tracking mounting options
(Click on series to hide)

● Vertical axis ● Two axis

Ilustración 16: Captura de la simulación con PVGIS.

Provided inputs

Location [Lat/Lon]	39.5577,-1.8953
Horizon	Calculated
Database used	PVGIS-SARAH2
PV technology	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	36587.09
System loss [%]:	27.00

Simulation outputs

	Vertical Axis	Two Axis
Slope angle [°]:	55(opt)	-
Yearly PV energy production [kWh]:	67661414.60	69988285.08
Year-to-year variability [kWh]:	2478378.0	2585914.8
Changes in output due to:		
Angle of incidence [%]:	-1.34	-1.28
Spectral effects [%]:	0.46	0.45
Temperature and low irradiance [%]:	-7.60	-7.93
Total loss [%]:	-33.15	-33.34

Ilustración 17: Resultados obtenidos tras la simulación con PVGIS.

A la vista de los resultados, se observa como a pesar de que el sistema de seguimiento en dos ejes obtiene una potencia generada mayor, la diferencia de energía producida no es grande y cubre en todo momento la energía del caso crítico que se ha estudiado anteriormente. Generalmente en el mercado eléctrico la diferencia de precio entre un sistema de seguimiento en un eje y uno de dos es mayor que la diferencia de energía producida es por ello por lo que para este proyecto se seleccionaran los paneles solares fotovoltaicos policristalinos con seguimiento solar en un eje.



Ilustración 18: Panel solar.

A la hora de elegir un tipo u otro de panel, influirán varios factores como puede ser el precio, su potencia, rendimiento o el espacio que ocupen. Es por ello por lo que se han escogido dos tipos de paneles que se detallarán a continuación, y se llevará a cabo un estudio para

determinar cuál es el que sale más rentable de manera económica y técnica. Los paneles seleccionados y sus características técnicas y precios son:

	P. Pico (Wp)	Dimensión (m)	Precio (€)	Eficiencia (%)
Huawei	250	1,64x0,992	125	18,33
Canadian Solar	410	2,108x1,048	210	18,56

Tabla 7: Datos generales de los paneles posibles.

Para decantarnos por una u otra opción llevaremos a cabo las siguientes consideraciones. Para calcular el número de paneles se usará la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ de paneles necesarios} = \frac{\text{Potencia pico de la instalación (kWp)}}{\text{Potencia pico del panel fotovoltaico (kWp)}}$$

Mediante esta fórmula calcularemos el número de paneles solares a instalar en cada caso, el espacio requerido, teniendo en cuenta que el grado de inclinación del sistema de seguimiento será de 55°, y el precio total del conjunto de placas y del suelo requerido. Para el precio del suelo requerido se estimará un precio de 0,65€/m².

A la hora de calcular el espacio que ocuparan los paneles solares en la instalación se tendrá en cuenta el área que ocupa cada panel con su grado de inclinación a lo que se le sumará la distancia que tendrá que haber entre cada panel tanto por delante como por detrás y de distancia lateral entre paneles se guardará un a distancia de 1m. A la hora de calcular la separación entre paneles solares tanto frontal como trasera, se ha usado la calculadora de la web MonSolar.

Para el cálculo del área que ocupará cada panel inclinado se usará la siguiente fórmula:

$$\text{Área Panel}(m^2) = \text{Ancho panel (m)} * \text{sen}(55) * \text{Longitud panel (m)}$$

En cuanto a los resultados obtenidos de la calculadora de MonSolar se estiman dos distancias, “d1” y “d1 recomendada”, siendo la ultima una distancia mayor a la primera con el fin de asegurar al 100% durante todos los días del año que ningún panel ocultará a otro. En el caso del proyecto, al asegurar que la producción de energía eléctrica estará muy por encima del objetivo de generación que era la de cubrir la demanda objetivo, se optará por la opción d1 al ser esta más económica pues reduce la distancia entre placas y así reduce el precio a pagar por el terreno. Los resultados obtenidos por la calculadora de Monsolar son los siguientes:

Tipo de Tejado	Ángulo de inclinación tejado (Ángulos en positivo)	Latitud del lugar	Longitud del panel en metros	Ángulo del panel sobre la Horizontal	d1 mínima	d1 Recomendada	d2 mínima	d2 Recomendada
Horizontal	0	39	1.64	55	2.581	3.461	3.521	4.402
Inclinación A	0	39	2.108	55	3.317	4.449	4.526	5.658

Ilustración 19: Resultados obtenidos de la calculadora de MonSolar.

De cara al cálculo total de cada panel se tendrá en cuenta el espacio que ocupará cada panel a lo que se le sumará el área que guardará cada panel en la parte posterior de cada panel, la fórmula usada será:

$$\text{Área total por panel (m}^2\text{)} = \text{Área Panel(m}^2\text{)} + (D1 * \text{Ancho panel (m)}) + (\text{sen}(55) * \text{Longitud panel (m)} * 1 + D1 * 1)$$

Por todo ello se presenta la siguiente tabla con los resultados obtenidos:

	P. Pico (Wp)	N.º de Paneles	Espacio (m ²)	Precio Paneles (€)	Precio Suelo (€)	Precio Total (€)
Huawei	250	146.348	274.443	18.293.545	178.388	18.471.933

Canadian Solar	410	89.236	221.048	18.739.729	143.681	18.883.410
----------------	-----	--------	---------	------------	---------	------------

Tabla 8: Precios totales en función del tipo de panel.

A la vista de los resultados, se escogerá la opción más económica que en este caso resulta ser la de seleccionar los paneles solares fotovoltaicos de la marca Huawei de 250Wp.

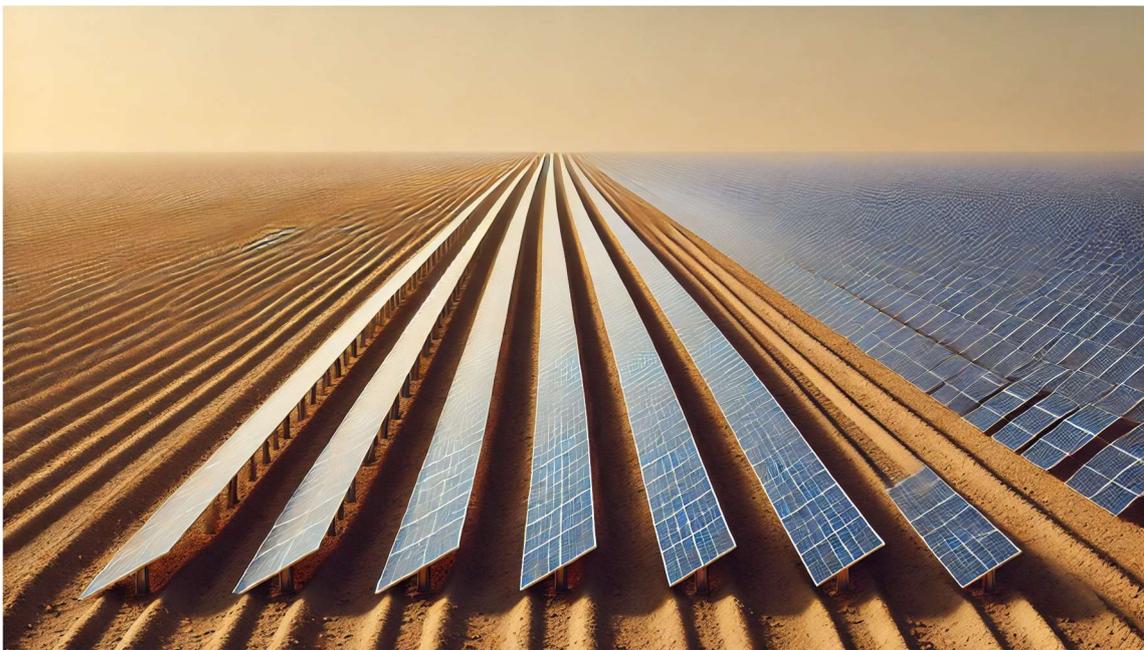


Ilustración 20: Simulación de la disposición de los paneles en la ubicación.

6.2.2 ELECCIÓN DEL INVERSOR

A la hora de llevar a cabo la elección del inversor habrá que tener en cuenta la potencia a la que se someterá al dispositivo con el fin de no sobrecargarlo ni tampoco escoger un dispositivo sobre dimensionado ya que de cara a que el inversor funcione adecuadamente y se mantenga en correcto estado con el tiempo, la potencia nominal de este ha de guardar una relación de 1-1,5 sobre la potencia a la que será sometido. Es por ello por lo que preferiblemente escogeremos un inversor que vaya a trabajar por encima de su potencia

nominal a uno que no vaya a llegar frecuentemente a trabajar sobre esta potencia nominal ya que de cara al funcionamiento a largo plazo será perjudicial.

En el caso de nuestra instalación, al ser la potencia a soportar de 36,59 MW trataremos de dividir la potencia a soportar por inversor pues a día de hoy no hay tecnología existente para soportar 36,59 MW de potencia en un solo inversor. Es por ello por lo que en esta instalación se optará por un método conocido como Maestro – Esclavo.

Este método consta de instalar inversores en paralelo de manera que un inversor funcionará de maestro controlando la ejecución y función del resto de inversores que funcionarán como entidades esclavas. Este método no solo reduce la inestabilidad, sino que aumenta el rendimiento energético.

Es por ello por lo que de cara al funcionamiento de la instalación fotovoltaica se ha decidido emplear cuatro inversores ya que con la tecnología de hoy en día es necesario reducir la potencia a soportar por cada inversor. De esta manera al ser la potencia total a soportar de 36,59 MW, la potencia a soportar por inversor pasará a ser de 9,15 MW por lo que al ser una potencia muy elevada aun así para la tecnología de hoy en día deberemos usar un tipo concreto de inversor muy singular en el mercado de inversores, el inversor SG8800UD-MV de la marca SUNGROW. Este inversor es un inversor de 8,8 MW de potencia nominal por tanto el campo fotovoltaico estará sobredimensionado respecto al inversor un 4% lo que no supone problema y de hecho es favorable de cara al correcto funcionamiento del dispositivo. Este sobredimensionamiento solo afectaría negativamente en los casos en los que toda la planta trabaje a potencia pico, lo que es poco probable que ocurra de manera continuada frecuentemente por tanto la opción de escoger el el inversor SG8800UD-MV es la opción mas viable tanto económica como técnicamente teniendo en cuenta las posibilidades del mercado.



Ilustración 21: Inversor SUNGROW SG8800UD-MV.

Algunas de las características técnicas que nos ofrece el inversor seleccionado serían:

Inversor SUNGROW SG8800UD-MV	
Nº de entradas y salidas MPP	8
Dimensiones (m)	12,192 x 2,896 x 2,438
Frecuencia Nominal(Hz)	50
Entrada (DC)	
Tensión Máxima (V)	1500
Tensión Mínima (V)	895/905
Corriente Máxima (A)	8*1435
Corriente de cortocircuito máx. (A)	8*3528
Salida (AC)	
Potencia de Salida (kVA)	8800 kVA a 45 °C

	9064 kVA a 40 °C 10120 kVA a 22,5 °C
Corriente Máxima de salida del inversor (A)	8*1160
Corriente Máxima de salida AC (A)	292,2
Rango de Tensión (kV)	20-35
Eficiencia	
Eficiencia máxima del inversor (%)	99
Transformador	
Potencia Nominal (kVA)	8800
Potencia Máxima (kVA)	10120

Tabla 9: Datos generales del inversor SG8800UD-MV.

A la hora de los gastos de terreno, estos aumentarían debido a la instalación de inversores y el espacio que estos requerirían, pero no afectarían a la hora de elegir un tipo de panel u otro pues el inversor a utilizar no dependerá del tipo de panel utilizado y es un espacio que se empleará de igual manera independientemente de la elección de panel a emplear.

6.2.3 DISPOSICIÓN DEL MATERIAL EN LA PLANTA

Con el fin de poder diseñar la disposición de los paneles fotovoltaicos y cuantas filas de paneles y los paneles que se podrán colocar por fila, es necesario conocer los límites de tensión corriente y potencia que podrán alcanzar estos dispositivos.

Es por ello por lo que primero necesitaremos datos más técnicos de los paneles a utilizar, que en este caso se tratan de los siguientes:

Panel Huawei	
Potencia Pico (Wp)	250 Wp
Voltaje de funcionamiento (V)	37,71 V
Corriente de cortocircuito (A)	8,95 A
Voltaje en potencia pico (V)	29,77 V
Corriente en potencia pico (A)	8,40 A
Máximo Voltaje (V)	1000 V
Coefficiente de Temperatura asociado a Tensión (V/°C)	-0,32 %/°C
Coefficiente de Temperatura asociado a Corriente (%/°C)	0,06 %/°C
Coefficiente de Temperatura asociado a Potencia (%/°C)	-(0,45±0,05) %/°C
Temperatura de funcionamiento	(-40 ~ +85) °C

Tabla 10: Datos Generales de funcionamiento panel HUAWEI 250Wp.

A la hora de estipular el número de paneles conectados en serie se tomarán en cuenta los siguientes cálculos:

Voltaje máximo del panel =

Voltaje de funcionamiento del panel*(1+(Temp.Min.-25)*coeficiente de temperatura
(Voc)

Número máximo de paneles solares =

Máx. voltaje de entrada / Voltaje máximo del panel

Corriente mínima del panel =

Corriente de cortocircuito del panel*(1+(Max.temp-25)*coeficiente de temperatura(Isc)

Número máximo de cadenas =

Máx. Corriente de entrada/Corriente mínima del panel

Finalmente, tras introducir los datos obtenidos de la hoja de características del panel solar y utilizar las ecuaciones previamente indicadas se han obtenido los siguientes resultados:

Voltaje y Amperaje Máximo por panel	
Voltaje máximo del panel (V)	45,55 V
Corriente mínima del panel (A)	8,27 A
Número de paneles y cadenas por inversor	
Número máximo de paneles en serie	Número máximo de cadenas

32,93 paneles	1238,11 cadenas
---------------	-----------------

Tabla 11: Valores máximos de paneles en serie y cadenas.

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que el número de paneles solares máximos por cadena conectados en serie será de 32 paneles solares y las cadenas totales que estarán conectadas al inversor serán 1238.

Hay que recordar que estos valores obtenidos son referidos a los paneles solares fotovoltaicos conectados en serie y a su vez en cadenas, que se conectan a un inversor. Es por ello por lo que el número máximo de paneles conectados a cada inversor alcanzaría los 39.619 paneles solares y a su vez, al ser 4 inversores los utilizados en el proyecto, serían un total de 158.478 paneles solares fotovoltaicos en total conectados a los 4 inversores a utilizar.

Estos números obtenidos, como se indica, son número máximos y es por ello por lo que de esta manera comprobamos que la capacidad de los paneles e inversores seleccionados a la hora de dimensionar la planta fotovoltaica es suficiente para albergar la cantidad de paneles a utilizar (146.348) para la producción de la energía solar necesaria para cubrir la demanda eléctrica objetivo del proyecto.

6.2.4 CAJAS COMBINADAS

Tras la selección del inversor, el establecimiento del número de cadenas con el que contará nuestro parque solar fotovoltaico y el número de paneles con el que contará cada una de las cadenas se procederá a la elección de una caja combinada con el fin de adaptar el número de cadenas al número de entradas con las que contará el inversor a utilizar.

El inversor seleccionado, SUNGROW SG8800UD-MV, cuenta con hasta 8 entradas que serán las que tendremos operativas durante el funcionamiento de la planta. Teniendo en cuenta que se dispondrán de 1238 cadenas por inversor que han de corresponder con esas 8

entradas. Esto implicará que cada entrada del inversor supondrá la combinación de 155 cadenas o lo que vienen a ser, 4960 paneles solares fotovoltaicos. Al ser la intensidad máxima de cada panel fotovoltaico de 8,95A, la intensidad a soportar por la caja combinada en cada una de sus entradas será de 8,95A y la intensidad máxima por cada entrada del inversor será de 1387,25A lo cual es menor que los 1435A que indica el fabricante del inversor que este es capaz de soportar por cada una de sus entradas.

Con todo ello se optará por utilizar 26 cajas combinadas de 6 entradas y una salida con un amperaje máximo admisible de 8,95 A por entrada, conectadas a 7 cajas de 4 entradas y 1 salida con un amperaje máximo de 13,425A.

Es conveniente recordar que toda la distribución de cajas combinadas y sus conexiones son referentes a cada inversor por tanto sería conveniente multiplicar cada número de cajas por 4 por lo que finalmente de cara al dimensionamiento de la planta, se utilizaran un total de 208 cajas de 6 entradas con un amperaje máximo de 8,95A por inversor y 56 cajas de 4 entradas con un amperaje de 13,425A por inversor, 832 y 224 respectivamente en total.

6.3 ANÁLISIS Y ADECUACIÓN DEL TERRENO

A la hora de llevar a cabo el conexionado a la red eléctrica de la planta fotovoltaica se tendrá en cuenta las posibilidades que ofrece el entorno y el rango de tensiones que ofrece la propia planta. La salida del inversor ofrece un rango de tensión de salida de 20-35 kV. Esta salida del inversor se conectará a un centro de seccionamiento con el fin de garantizar la seguridad y calidad del suministro y de ahí se producirá el conexionado a la red.

En Motilla del Palancar se dispone de una subestación eléctrica la cual cuenta con una potencia total de algo más de 60MW y ubicada en la zona sur del municipio. Esta subestación cuenta con unas tensiones de 20/132kV. A continuación, se muestra la ubicación de la subestación y ubicación de la planta solar:

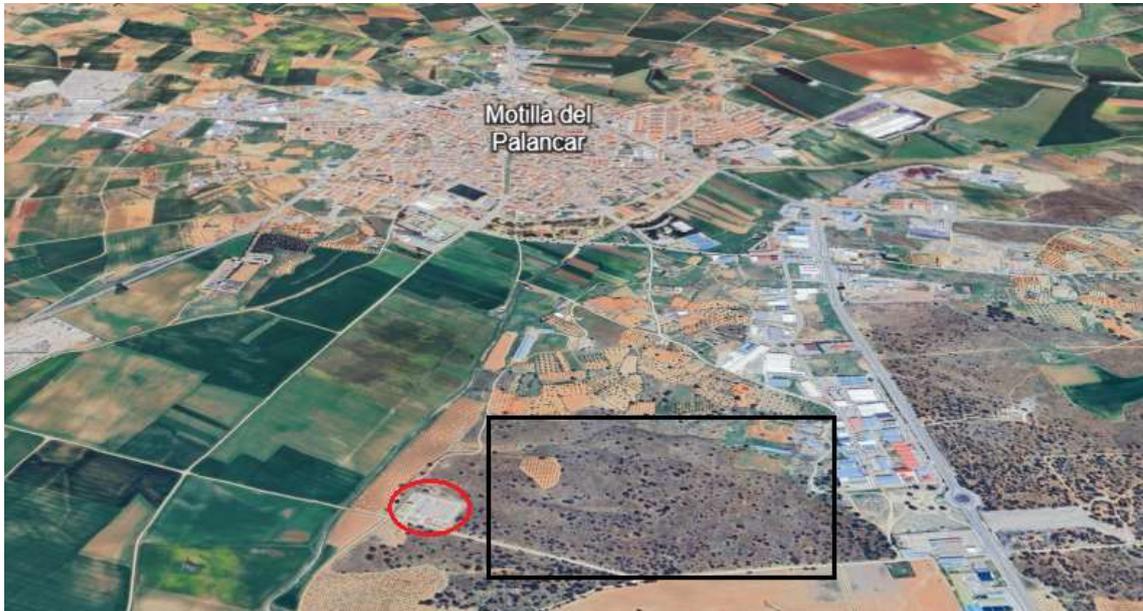


Ilustración 22: Ubicación de la subestación.

En rojo redondeado, se muestra la subestación mencionada anteriormente y en naranja se muestra la zona donde se tiene pensado llevar a cabo la instalación de la planta solar. Como se ve, ambas zonas son muy próximas unas de otras y tienen una gran cercanía a la población de Motilla del Palancar por lo que esto será de gran ayuda para simplificar la gestión técnica y económica de la planta ya que el conexionado a la subestación se puede realizar sin obras de gran dimensión para el soterramiento ni línea aérea.

Por todo lo anterior, se ha considerado conectar la salida del inversor al centro de seccionamiento a 20kV para entrar al transformador a ese nivel de tensión y transformarse a 132 kV para entrar en la red de transporte y poder llegar al consumidor final.



Ilustración 23: Subestación eléctrica.

La gestión que se tendría que llevar a cabo para el conexionado de la planta a la subestación consistiría principalmente en recibir una autorización por parte de las autoridades competentes para conectar la planta a la misma subestación tras haber llevado una comprobación de la viabilidad técnica de esta conexión.

6.4 PÉRDIDAS DEL SISTEMA

Referido al tema de las pérdidas, hay numerosas y causadas por distintos factores y motivos. La primera a tener en cuenta son las pérdidas causadas reflexión y sombreado. Estas pérdidas se dan en este tipo de paneles a raíz de que se produzcan ocultamientos de sol entre estos mismos paneles o porque no estén correctamente inclinados o limpios reduciendo así la irradiación recibida en los mismos. Gracias a la correcta separación entre paneles calculada en apartados anteriores se ha conseguido reducir al mínimo el sombreado producido entre paneles. Mediante el sistema de seguimiento solar en un eje se tratará de

reducir lo máximo posible las pérdidas producidas por una incorrecta inclinación de las placas y gracias al personal y mano de obra con el que contará la planta fotovoltaica de por sí, se tratará de reducir al mínimo posible las pérdidas producidas por suciedad en las placas gracias a sistemas de regadío y demás mecanismos que se emplearán.

Otro factor de pérdidas en la eficiencia de la planta serán las pérdidas por mismatch. Este tipo de pérdidas son causadas debido a la conexión en serie de numerosos paneles solares fotovoltaicos. Al tener numerosos paneles conectados en serie, cuando uno baje la eficiencia afectará a todo el resto de los paneles, funcionando el entramado en serie a menor eficiencia a pesar de ser solo una placa fotovoltaica la afectada por esa bajada de eficiencia. Este tipo de pérdidas se tratará de evitar llevando a cabo revisiones frecuentes del estado de los paneles y mediante sensores de eficiencia de estos.

Otra de las pérdidas a tener en cuenta son las pérdidas por conversión eléctrica. Este tipo de pérdidas son inevitables, pero si pueden variar en función de la calidad de la aparatamenta empleada en la ejecución de la planta solar. A la hora de calcular estas pérdidas se debe tener en cuenta la eficiencia del cableado empleado, la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos y la eficiencia del inversor empleado.

Algunas de las pérdidas inevitables a las que tendrá que afrontar la planta solar son las pérdidas producidas por temperatura, ocultación del sol o climatológicas y pérdidas producidas por polvo.

6.5 EFICIENCIA DE LA PLANTA

Con todo lo anterior citado podríamos hablar de la eficiencia total de la planta la cual se va a calcular a continuación:

$$\eta_{TOTAL} = \eta_{INVERSOR} * \eta_{CABLE} * \eta_{PANEL} * \eta_{MISMATCH} * \eta_{TEMPERATURA} * \eta_{SUCIEDAD}$$

- **$\eta_{INVERSOR}$** : Eficiencia del inversor seleccionado para el dimensionamiento de la planta

- $\eta_{INVERSOR}=99\%$

-

- **η_{CABLE}** : Eficiencia del sistema de cableado empleado. A pesar de no estar registrado anteriormente se escogerá un valor común.

$$\eta_{CABLE} = 93\%$$

- **η_{PANEL}** : Eficiencia de los paneles Huawei de 250Wp.

$$\eta_{PANEL} = 18,33\%$$

- **$\eta_{MISMATCH}$** : Eficiencia resultante del ajuste de la conexión en serie de los paneles solares en la disposición de estos. Se le proporcionará un valor bajo.

$$\eta_{MISMATCH}=95,3\%$$

- **$\eta_{TEMPERATURA}$** : La eficiencia pérdida por elevadas temperaturas. En este caso como ya se registró anteriormente, Motilla del Palancar no suele obtener temperaturas por encima de las que suelen causar pérdidas de eficiencia por lo que en este caso las pérdidas por temperatura no son elevadas.

$$\eta_{TEMPERATURA} = 94,1\%$$

- **$\eta_{SUCIEDAD}$** : Eficiencia resultante tras las pérdidas producidas por suciedad o polvo. A pesar de no estar previamente estipuladas se estimarán en un valor común y no muy elevado

$$\eta_{SUCIEDAD} = 92,7\%$$

- Con todo lo registrado anteriormente podemos calcular la eficiencia total de la planta solar fotovoltaica que hemos dimensionado:

-

$$\eta_{TOTAL} = \eta_{INVERSOR} * \eta_{CABLE} * \eta_{PANEL} * \eta_{MISMATCH} * \eta_{TEMPERATURA} * \eta_{SUCIEDAD} = 14,03\%$$

Con los datos proporcionados anteriormente también podremos obtener el “Performance Ratio” final de la instalación ya que a principios del dimensionamiento se estableció un valor común del 73% pero ahora conociendo la apartamenta a utilizar y las estimaciones basadas en el terreno acerca de la suciedad y demás factores podremos establecer un ratio más realista y adaptado al dimensionado realizado.

El cálculo de esta ratio será el siguiente:

$$PR = N_{Inversor} * N_{temperatura} * N_{cable} * N_{suciedad} * N_{mismatch} = 76,54\%$$

6.6 CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA

Con el fin de garantizar la calidad, eficiencia y seguridad tanto del suministro eléctrico que se pretende aportar, como de las personas y bienes que se verán involucrados en la prestación de este servicio, es necesario instalar en la planta solar una serie de protecciones con el fin de evitar males mayores que se pueden ocasionar por distintas causas. Esta serie de protecciones varían ya que van desde protecciones frente a fallos eléctricos como cortocircuitos, sobretensiones o cortes de luz hasta protecciones frente a incendios u otros imprevistos.

La protección empleada en la planta ante los fallos eléctricos que se puedan originar en la misma será la de implementar una red de puesta a tierra con el fin de proteger la maquinaria y personal ante sobretensiones, sobreintensidades o cortocircuitos que se puedan dar en los equipos. Esta red evacuará a tierra todo exceso de carga en la red de manera instantánea por lo que su correcto diseño será fundamental para la planta.

Generalmente, y en el caso de los paneles solares seleccionados se cumple, Las placas solares fotovoltaicas disponen, en el marco, de un orificio (taladro) específico para su puesta a tierra.

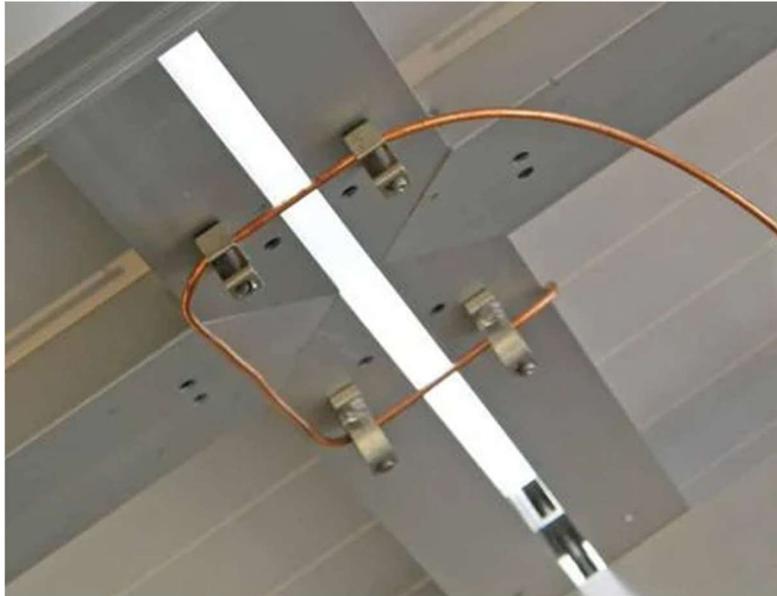


Ilustración 24: Taladro habilitado para la puesta a tierra.

Mediante el aprovechamiento de estos orificios practicados por el vendedor del panel se conecta la placa solar a tierra. Generalmente el conductor de protección a tierra irá por dentro de los soportes de la placa para finalmente conectarse al punto de puesta a tierra de la instalación que a su vez estos puntos se conectarán a un punto común principal conocido como pica de tierra mediante un conductor de enlace.

Por todo ello es importante saber, que todos los elementos del sistema deben conectarse a tierra en un único punto mediante conectores de enlace, a este punto común se le conoce como tierra del sistema que en nuestro caso será de tipo pica o jabalina. Esto se hace principalmente para reducir pérdidas en el rendimiento de los paneles ya que al ir conectados en serie podrían afectar unos a otros causando una bajada generalizada del rendimiento del sistema al ocurrir cualquier incidente eléctrico.

Con todo ello ya podemos realizar el diseño de nuestra pica de puesta a tierra. Estas picas se diseñarán con el objetivo de eliminar el riesgo que produce la tensión de contacto al ser humano. Por regla general la tensión de contacto máxima admisible es de 50V aunque queda

registrado que en determinadas zonas esta tensión es de 24V por tanto este valor pasará a ser la tensión de contacto máxima admisible. Otro factor es la sensibilidad del diferencial a emplear, se usará un diferencial de unos 2,5A con el fin de ampliar la seguridad lo máximo posible.

La longitud de las picas empleadas será de 3,5m. Respecto a la resistividad del terreno, el suelo seleccionado corresponde a un terreno agrícola el cual generalmente al igual que la gran mayoría de suelos agrícolas de Castilla la Mancha acostumbran a ser suelos arcillosos secos. Es por este motivo por lo que al pertenecer a un tipo de terreno arcilloso seco la resistividad del terreno donde se instalará nuestra planta solar fotovoltaica será de $500 \cdot \Omega \cdot \text{m}$. El área del terreno donde se instalará la malla de puesta a tierra será el terreno a ocupar por toda la aparamenta eléctrica involucrada en la generación de energía solar fotovoltaica la cual irá conectada a sus respectivos conductores de puesta a tierra. Esta área se ha indicado en apartados anteriores y será de 274.443 m^2 .

Con todo ello, las fórmulas a emplear para el cálculo de la puesta a tierra serán:

La resistencia máxima a soportar será:

$$R \leq \frac{\text{Tensión de contacto máxima admisible}}{F_{\text{sensibilidad}}} = \frac{24}{2,5} = 9,6\Omega$$

Sin embargo, la resistencia real que soportará en servicio continuo nuestra resistencia de puesta a tierra será de:

$$R_m = \frac{\varphi}{4 \cdot \sqrt{A}} * \left(1 + \frac{L}{\sqrt{A}}\right) = \frac{500}{4 \cdot \sqrt{274.443}} * \left(1 + \frac{3,5}{\sqrt{274.443}}\right) = 0,24 \Omega$$

Con todo lo anterior se verifica por tanto que la malla de puesta a tierra a emplear cumple estando muy por debajo de la resistencia máxima a emplear ya que su R_m es 40 veces menor que la resistencia máxima a soportar.

6.7 SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Además del mallado de puesta a tierra y de acuerdo con la normativa BOE-A-2000-17599, nuestra planta solar fotovoltaica ha de incluir la siguiente apartamentada de protección frente a fallo eléctrico.



Ilustración 25: Protecciones eléctricas presentes en subestaciones.

La instalación contará con un interruptor general con capacidad de corte superior a la intensidad de cortocircuito indicada. Además, se instalará un interruptor diferencial para proteger a las personas ante posibles derivaciones en la parte continua de la instalación. Un interruptor automático de interconexión el cual permitirá la desconexión y reconexión automática de la planta ante pérdidas de tensión o frecuencia en la red, complementado con un relé de enclavamiento. También se implementará protección para mantener la frecuencia entre 49 y 51 Hz. Con todo ello nuestra planta solar fotovoltaica cumpliría correctamente con la normativa vigente y aseguraría la calidad del suministro garantizando la seguridad del mismo y de las personas e instrumentos de la instalación.

Con el fin de proteger la instalación, la planta solar fotovoltaica contará con mecanismos de detección automática de incendio como serán sensores de humo y calor al igual que de temperatura junto a sistemas de alarma y evacuación. La planta contará con extintores y bocas de incendio repartidas por toda la instalación y rociadores automáticos en áreas de mayor riesgo. El cableado empleado que pueda estar en contacto con posibles incendios será ignífugo reduciendo así el riesgo en la instalación.

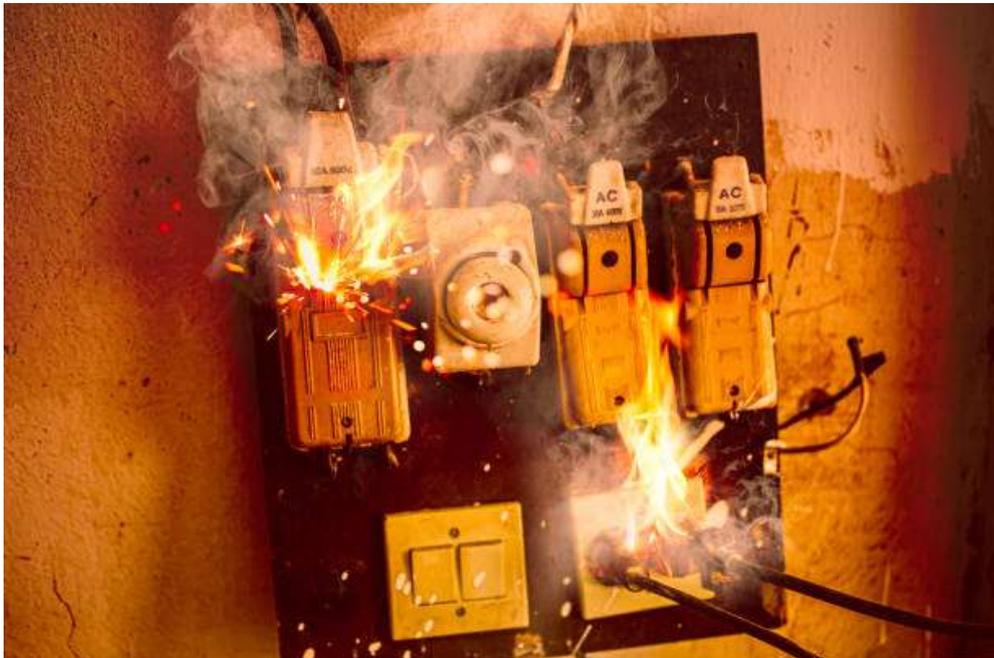


Ilustración 26: Riesgo de incendio por fallo eléctrico.

Capítulo 7. VIABILIDAD ECONÓMICA

7.1 ANÁLISIS DE COSTES.

7.1.1 COSTES DE INVERSIÓN, CAPEX.

En el apartado a continuación se detallarán todos los gastos en los que incurriremos durante la instalación y puesta en marcha de la planta solar fotovoltaica en la que se basa este proyecto.

Los gastos en los que se incurrirá a la hora de llevar a cabo esta planta solar fotovoltaica irán desde el gasto en la adquisición del terreno, así como el gasto en la aparamenta eléctrica que será necesaria para un correcto funcionamiento de la planta. A pesar de haber incluido anteriormente una pequeña referencia a los gastos que implicarán los terrenos y la adquisición de los paneles con el fin de decantarnos por una u otra opción a la hora de seleccionar el tipo de panel que usaremos en este proyecto en la siguiente tabla se incluirá de manera detallada y justificada todos los gastos.

1. Costes relacionados con la adquisición del terreno:

- Terreno Requerido por los Paneles Solares:
Con un espacio unitario por panel de 1,875 m² detallado en apartados anteriores y un considerado un precio de 0,65 €/m² al ser tierras de cultivo.
- Terreno Requerido por los Inversores Eléctricos:
Con las dimensiones detalladas en la descripción del inversor sabemos que estos ocupan una dimensión de 12,192m de ancho y 2,438 metros de largo ocupando así una superficie unitaria por inversor de 29,724 m². Se ha vuelto a considerar el coste del metro cuadrado de 0,65€.

2. Costes relacionas con la adquisición de aparamenta:

- Paneles Solares:

Como se indica en la descripción inicial del panel solar HUAWEY el precio unitario por panel es de 125€ necesitando a su vez un total de 146.348 unidades para alcanzar la potencia necesaria de la instalación fotovoltaica.

- Inversor:

A pesar de no estar indicado en la página oficial del proveedor (SUNGROW) mediante estudio del mercado de inversores conectados a la red se ha estimado un precio de 0,10 €/W. Este precio puede resultar mayor para inversores de menor capacidad, sin embargo, el precio del W suele reducirse al aumentar la potencia del inversor y más aún al llevar a cabo un pedido superior a la unidad como es el caso de nuestra instalación donde se llevaría a cabo un pedido de 4 inversores eléctricos.

- Sistemas de Protección Eléctrica, contra incendios y cableado:

Mediante un estudio del mercado basado en comparación de distintos precios de numerosos proveedores y llevando a cabo una estimación apoyada por inteligencia artificial se ha concluido en los precios indicados en la tabla. Estas estimaciones se basan en costes unitarios de las unidades de protección y cableado empleado así como la magnitud de las unidades de protección que se van a emplear.

3. Costes relacionas con gestiones administrativas:

- Coste de Licencias y Permisos:

El coste indicado en la tabla es un coste basado en deducciones, testimonios aportados por individuos que han llevado a cabo proyectos similares y distintas normativas dentro del marco regulatorio español como pueden ser el Real Decreto 413/2014 o el Real Decreto 900/2015. Los permisos y licencias considerados en esta sección incluyen: Permiso de acceso y conexión, Autorización administrativa previa y de construcción, Estudio de impacto ambiental, Licencia de obras, Inscripción en RIPRE, Licencia de actividad y apertura.

- Aval:

Consta en el plano práctico de una fianza que se entrega a la administración a modo de poder probar que el individuo que quiere llevar a cabo la planta en cuestión es capaz de finalizar la obra y conectarla a la red tras obtener los permisos para ello.

Este aval se recupera una vez la planta esta conectada de manera correcta a la red y consta en función de la normativa vigente (Real Decreto-ley 15/2018) de 40€/kW instalado.

CAPEX	
1. Costes relacionados con la adquisición del terreno	
Terreno Requerido por los Paneles Solares	178.388€
Terreno Requerido por los Inversores Eléctricos	77,28€
TOTAL	178.465,28€
2. Costes relacionas con la adquisición de aparamenta	
Paneles Solares	18.293.500€
Inversor	3.520.000 €
Cableado	250.000€
Sistemas de Protección Eléctrica	100.000€
Sistemas de Protección contra Incendios	50.000€
TOTAL	23.973.000€
3. Costes relacionados con gestiones administrativas	
Coste de Licencias y Permisos	250.000€
Aval (Recuperable)	1.463.484€
TOTAL	1.713.484€
Coste Total	24.104.949,28 €

Tabla 12: Costes desglosados de CAPEX.

7.1.2 COSTES OPERATIVOS Y DE MANTENIMIENTO, OPEX.

En el siguiente apartado se tratarán aquellos gastos referidos a la planta solar fotovoltaica en los que se incurrirá de manera periódica y tendrán relación con la operación y mantenimiento de esta.

Generalmente los datos que se mostrarán a continuación no son fijos e iguales para todas las plantas solares fotovoltaicas ya que dependen de la dimensión del proyecto, el tipo de panel empleado y la zona en la que se instala este proyecto ya que los costes de mantenimiento pueden ser más o menos intensos dependiendo de distintos factores ambientales y meteorológicos según la zona en la que se instala la planta solar.

1. Costes relacionados con las placas solares:

- Revisión de la eficiencia de las placas solares:

Con el fin de garantizar que se cumple con la eficiencia y rendimiento previsto para la planta solar y así poder alcanzar los niveles de generación de energía eléctrica propuestos, es necesario que de manera periódica un equipo de especialistas se encargue de llevar a cabo una revisión del estado de los paneles ya que como se explico anteriormente la bajada de rendimiento de un panel afectaría al resto de paneles al ir conectados en serie.



Ilustración 27: Mantenimiento de placas solares.

Esta revisión se llevaría a cabo de manera anual y por estimaciones de mercado involucraría un coste unitario por panel de 4 €/panel solar fotovoltaico. Al contar en la instalación con un total de 146.348 paneles solares este coste sumaría un total de 585.392 €/año.

- Limpieza de las placas solares:

En el caso de la limpieza de los paneles solares este gasto puede variar en gran medida dependiendo de las condiciones medioambientales de la zona en la que se instala la planta solar. Hay varios componentes que pueden producir que las placas solares se ensucien y por ende su rendimiento baje ya que captarían menor irradiación solar, estas pueden ser desde el excremento aviar hasta el polvo levantado por el viento.



Ilustración 28: Limpieza de placas solares.

Generalmente, por viento no habría que tener una gran preocupación en Motilla del Palancar ya que este municipio se encuentra en la zona A de viento lo que implica que las rechas de viento en la zona no alcanzarán valores significativos por lo que el viento que pueda levantarse y acumularse en las placas no estará fuera de lo normal y por tanto no hay que tomarlo especialmente en cuenta.

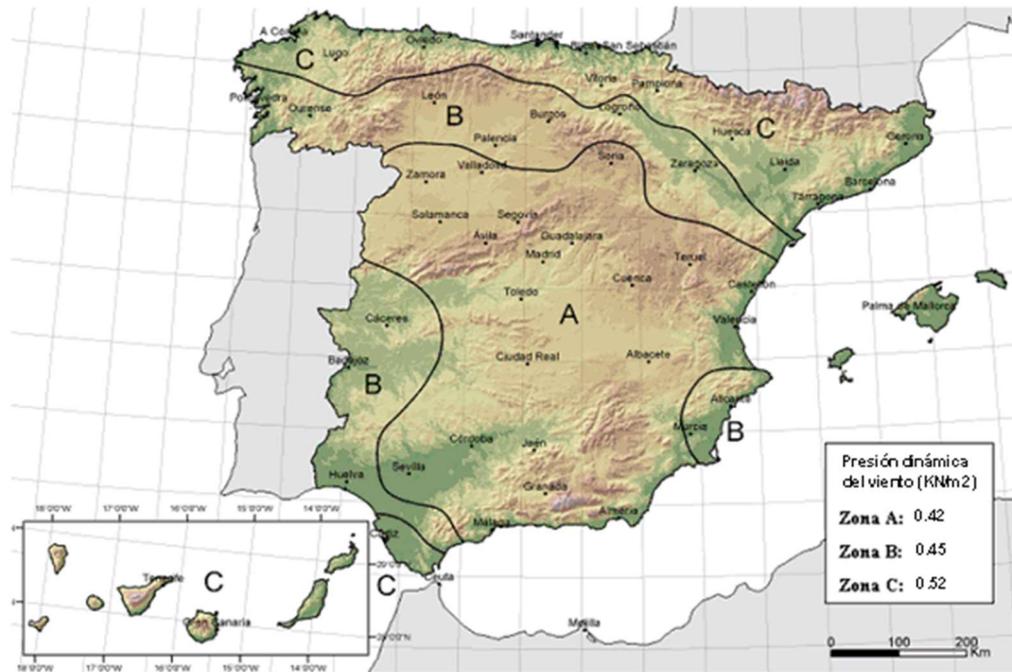


Ilustración 29: Mapa de la presión dinámica del viento en España.

Por todo ello, y mediante la búsqueda de distintos servicios y estimaciones del costo unitario por panel se ha llegado a la conclusión de que el costo unitario que implicaría la limpieza de cada panel sería de unos 2 €/panel. En esta ocasión, el gasto de limpieza de paneles será un gasto en el que se incurrirá unas 2 veces al año de manera cuatrimestral por lo que si el precio por cada servicio que reciba la planta será de unos 292.696 €/servicio, el gasto anual en limpieza de estos paneles será de unos 585.392 €/año.

OPEX	
1. Costes relacionados con las placas solares:	
Revisión de la eficiencia de las Placas Solares	585.392 €/año
Limpieza de las placas solares	585.392 €/año
TOTAL	1.170.784 €/año

Tabla 13: Costes desglosados de OPEX.

7.2 FUENTES DE FINANCIACIÓN Y AYUDAS

Respecto a la forma de afrontar la financiación del proyecto, se buscará reducir el peso de los costes iniciales mediante distintas fuentes de financiación. Estas fuentes pueden proceder ya sean de fondos públicos o privados debido a que hoy en día hay numerosas gobiernos y entidades que buscan reducir la huella de carbono de la energía favoreciendo e impulsando los proyectos de energías renovables. De entre las ayudas que a día de hoy el gobierno y numerosas comunidades autónomas impulsan, uno de los que más podrían ayudar a la financiación de este proyecto sería el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Esta línea de ayudas está directamente financiada por la unión europea provenientes de los fondos NextGeneration. Estos fondos son una ayuda que impulsa la unión europea para los países miembro mediante la cual se buscaba inicialmente facilitar la recuperación de estos tras la pandemia del Covid-19 y actualmente tratan de impulsar las economías de los países europeos hacia una economía más sostenible y que pueda proteger a los ciudadanos de estos países ante los riesgos emergentes como puede ser el desabastecimiento o la escasez de recursos a raíz de problemas que se han tenido recientemente como la pandemia o la invasión rusa de Ucrania.

España es uno de los principales beneficiados de las ayudas de estos fondos con una suma total de ayudas adjudicadas de 163.000 millones de euros entre los años 2021-2026. Este dinero el gobierno lo reparte a las comunidades autónomas las cuales son las encargadas de seleccionar y subvencionar los proyectos que bajo los criterios de la línea de actuación de estos fondos sean susceptibles de recibir ayudas. Durante el año 2024 en Castilla la Mancha se repartieron 193,58 millones de € en un total de 38 proyectos. De estos proyectos fueron tres relacionados con energía fotovoltaica entre los cuales obtuvieron más de 13 millones de euros en concepto de ayudas.



Ilustración 30: Financiación y ayudas a la energía renovable.

Por tanto, a raíz de lo anteriormente expuesto la planta fotovoltaica tratada en el presente proyecto podría beneficiarse en la convocatoria de 2025 de estos fondos con el fin de reducir el coste inicial del proyecto. A través de la búsqueda de los presupuestos presentado por los proyectos relacionados con energía fotovoltaica que recibieron ayuda durante la convocatoria de 2024, y calculando el porcentaje de ayuda que recibieron en comparación con el presupuesto total que presentaron, nuestro proyecto al tratarse de un proyecto superior a los 100 MW y estar localizado en un terreno agrícola podría recibir una ayuda de entre el 70% y 80% del presupuesto inicial. Cabe señalar que en este presupuesto inicial no entraría el OPEX ya que se incurriría en estos gastos una vez puesta en marcha la instalación. Por todo ello, comparándolo con proyectos similares al que se quiere impulsar y teniendo en cuenta que la zona donde se instalaría nuestra planta solar fotovoltaica sería una zona marcada como riesgo de despoblación extremo, nuestro proyecto podría recibir una ayuda igual al 83% del CAPEX lo que es igual a 20.007.107,9 €.

De cara a poder recibir esta ayuda sería necesario cumplir una serie de requisitos y cumplimentar de manera correcta una serie de documentos que podrían acarrear un gasto extra pero que no incrementaría en gran medida al ya reflejado en el CAPEX.

7.3 ESTIMACIÓN DE INGRESOS

Generalmente a día de hoy en España el desglose de la tarifa de energía eléctrica está dividida principalmente en impuestos, peajes y e precio por el que se compra la electricidad. Generalmente los costes por peajes e impuestos representan más de la mitad de lo que acaba pagando el consumidor final por cada MWh que consume de energía eléctrica. Es por ello por lo que, a pesar de poder cambiar cada año dependiendo de la situación económica, legislatura y estado actual del país, el productor de la energía eléctrica acaba recibiendo el 35% de lo que paga el consumidor final por cada MWh que consume.

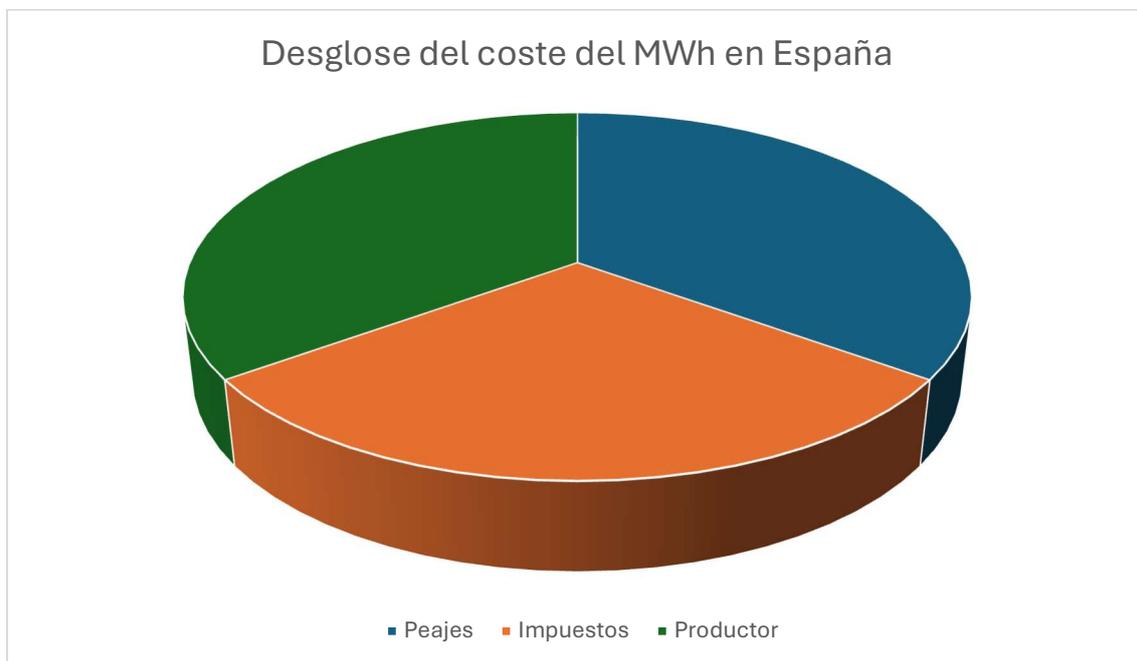


Tabla 14: Desglose del Coste del MWh en España

Trasladando esta estimación a nuestro caso, la planta solar fotovoltaica recibiría un 35% del total de lo que pagarían los habitantes de Motilla del Palancar por su suministro eléctrico.

De cara a poder estimar unos números de ingresos se necesitaría estimar una curva del precio de la electricidad. Esta estimación se obtendrá de los datos ofrecidos por el Operador del Mercado Ibérico – Polo Portugués (OMIP) el cual ofrece unas estimaciones anuales del precio medio del megavatio – hora

FTB YR-25	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	69.30		
FTB YR-26	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	65.00		
FTB YR-27	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	59.75		
FTB YR-28	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	57.81		
FTB YR-29	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	56.53		
FTB YR-30	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	55.00		
FTB YR-31	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	54.48		
FTB YR-32	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	54.48		
FTB YR-33	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	54.48		
FTB YR-34	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	54.20		

Ilustración 31: Estimación del precio medio de la electricidad por el OMIP

En el siguiente gráfico mostrado a continuación se mostrará la evolución del precio de la electricidad para el consumidor final en €/MWh desde 2025 a 2034 junto con el beneficio que se obtendrá por parte del generador de la energía eléctrica, en este caso la planta solar fotovoltaica del presente proyecto situada en Motilla del Palancar.

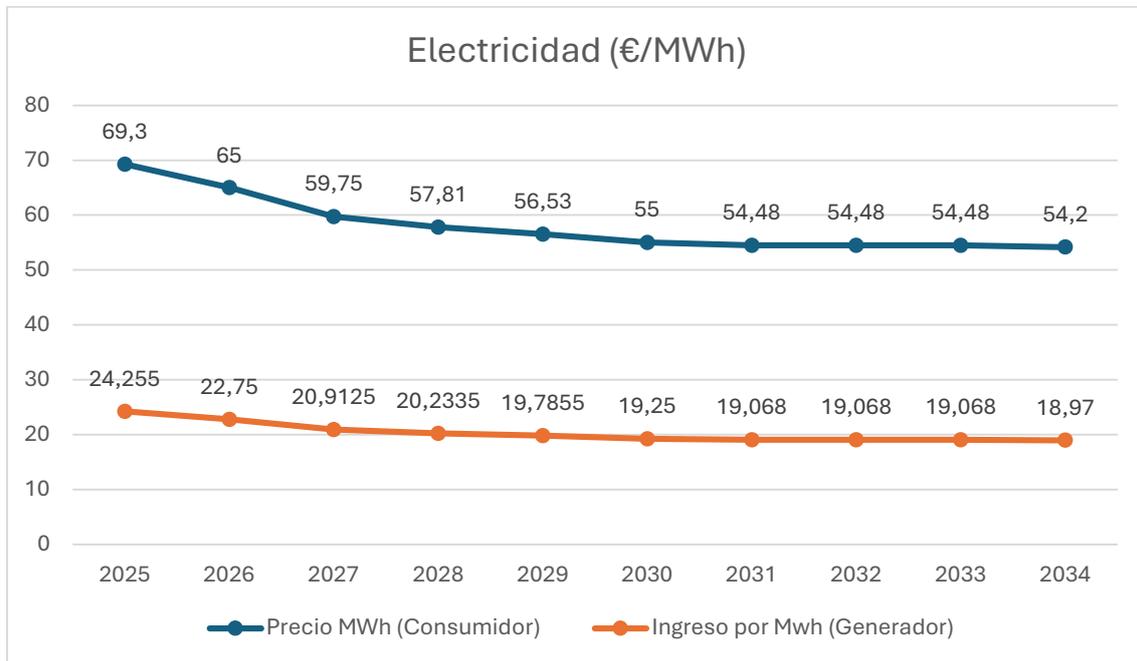


Tabla 15: Comparativa de la ganancia del productor en base al precio de la luz

De cara a los precios de la energía y por ende a los ingresos que obtendría la planta solar fotovoltaica, es de vital importancia el corregir las curvas de predicciones del precio de la energía puesto que de cara a los años venideros en 2030 se cerrará la última central de carbón en España y para 2035 está previsto que se cierre la última central nuclear en nuestro país. Por tanto, estos cierres de fuentes de energía las cuales, a pesar de provocar efectos nocivos al medioambiente o a partir de sus residuos al entorno, podían producir grandes cantidades de energía sin importar el día o las condiciones meteorológicas, podrían provocar un repunte en las curvas del precio del MWh.

Con los datos anteriores se puede estimar el ingreso que obtendría nuestra planta solar fotovoltaica si toda la energía producida se inyecta a la red sin producir vertidos de energía.

INGRESOS OBTENIDOS POR AÑO			
AÑO	Energía Producida al año	Precio MWh	Cuantía Total

2025	67.661,414 MWh	24,255 €	1.641.127,60 €
2026	67.661,414 MWh	22,75 €	1.539.297,17 €
2027	67.661,414 MWh	20,912 €	1.414.935,49 €
2028	67.661,414 MWh	20,233 €	1.368.993,39 €
2029	67.661,414 MWh	19,785 €	1.338.681,08 €
2030	67.661,414 MWh	19,25 €	1.302.482,22 €
2031	67.661,414 MWh	19,068 €	1.290.167,84 €
2032	67.661,414 MWh	19,068 €	1.290.167,84 €
2033	67.661,414 MWh	19,068 €	1.290.167,84 €
2034	67.661,414 MWh	18,97 €	1.283.537,02 €

Tabla 16: Ingresos por año de la planta.

7.4 ANÁLISIS FINANCIERO

Durante el presente apartado se realizará el análisis de las cuentas con el fin de obtener el ingreso neto por la explotación.

Si el gasto inicial supone un total de 24.104.949,28 € pero la cuantía total de las subvenciones obtenidas es de unos 20.007.107,9 €, el importe a pagar inicialmente es de 4.097.841,378 €. A este gasto habría que añadirle también los gastos reflejados en el apartado de OPEX por lo que el gasto total en el primer año de operación de nuestra planta solar fotovoltaica alcanzaría los 5.268.625,378 €.

Hay que resaltar la importancia de que estos gastos no reflejan posibles imprevistos que se puedan dar durante la operación del sistema como pueden ser pérdidas o daños en equipos ya sea por incendios, robos o propios incidentes de operación que puedan ocurrir.

7.4.1 Payback Period.

Durante este apartado se estudiará el tiempo en el que se recuperará la inversión realizada en la planta. Realmente al acarrear gastos anuales este apartado se podrá dividir en dos, teniendo por una parte los gastos iniciales de inversión y el tiempo que tardaríamos en cubrir esos costes y por otro el gasto total en el que influye el gasto que acarrearía la planta anualmente y el tiempo que tardaríamos en conseguir una diferencia positiva entre el dinero invertido y el dinero obtenido en base a la explotación de la planta.

Payback Period (CAPEX).

Teniendo en cuenta el gasto que acarrearía el CAPEX y los ingresos anuales la gráfica obtenida en base a los flujos de caja solo teniendo en cuenta esto serían los siguientes:

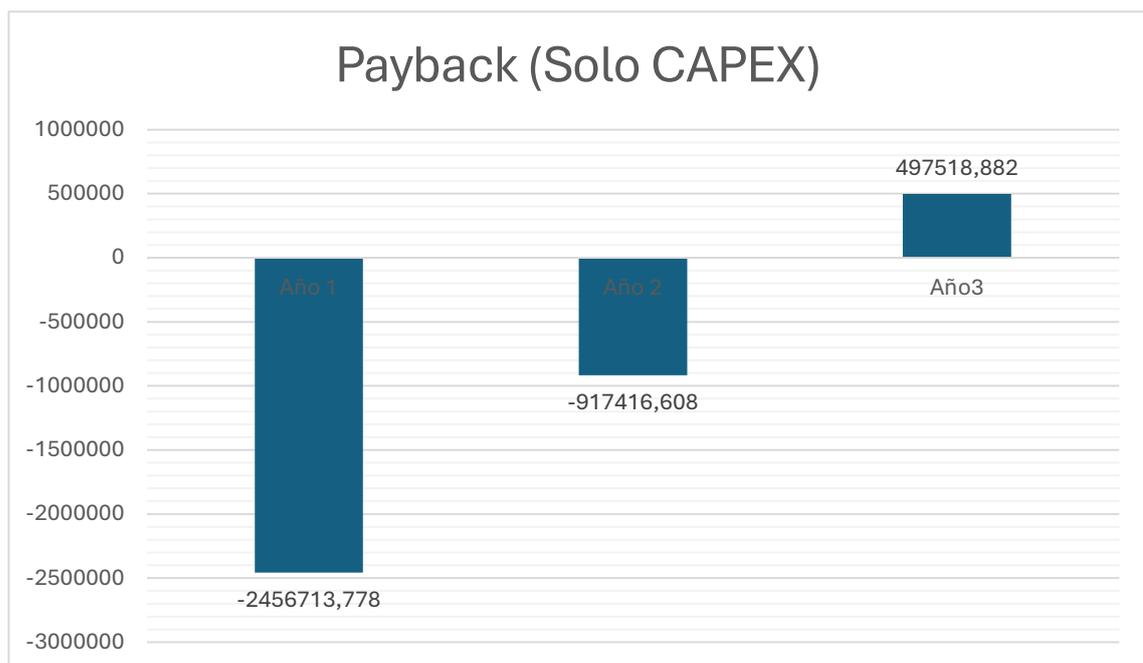


Tabla 17: Payback Period solo para el CAPEX

Se observa cómo una vez llegados al tercer año de operación de la planta, los gastos iniciales de inversión del material son totalmente cubiertos llegando a obtener un beneficio de 497.518,88€.

Suponiendo que los ingresos son lineales para todo el año, se podría obtener el payback period referido a años meses y días dividiendo el último número negativo obtenido en el año 2 de operación entre el ingreso esperado para el tercer año obtenemos la siguiente operación.

$$\text{Payback} = \frac{917.416,608 \text{ €} * 12 \text{ meses}}{1.414.935,49 \text{ €}} = 7,78 \text{ meses}$$

Y teniendo en cuenta que el 78% de un mes natural de 30 días son 23 días se puede afirmar que el payback period referente al CAPEX de nuestra planta solar fotovoltaica seria de 2 años, 7 meses y 23 días.

Payback Period (Total).

Referente al Payback Period teniendo en cuenta los gastos anuales referidos al OPEX sumados a los gastos iniciales, este periodo de retorno aumentará considerablemente puesto que los gastos anuales ascienden a una cuantía cercana a los ingresos obtenidos en la planta. Por ello, el periodo de retorno teniendo en cuenta los gastos totales de la planta y los ingresos obtenidos durante los años de operación serían los siguientes:



Tabla 18: Payback period total

Como se observa en la gráfica anterior el payback period hasta el momento en el que se obtienen beneficios sería de 29 años.

De cara a realizar esta gráfica, puesto que se ha estimado el precio de la luz hasta 2034 pero en la gráfica presente se refleja un periodo de 29 años lo que equivaldría desde 2025 a 2044, se ha mantenido fijo el precio de la luz puesto que tras el cierre de las nucleares a día de hoy no está previsto ningún cierre mas de centrales ya que las de ciclo combinado se mantendrán alrededor de los 26GW de potencia instalada. Esto hace que la gráfica anteriormente representada sea poco fiable pues al igual que está previsto un repunte en los precios de la electricidad para 2035 con el cierre de las nucleares en España también se podría prever una bajada en los precios de la electricidad para cuando el panorama eléctrico nacional se haya asentado en la situación con la potencia de las nucleares llevada a ceros.

Con todo lo anteriormente comentado se podría afirmar que el periodo de retorno de la planta solar podría aumentar unos años más aun de darse una bajada en los precios de la electricidad, aunque habría que tener en cuenta que de darse un repunte en los precios de la electricidad al cerrarse las nucleares estos años podrían contrarrestarse con este repunte.

Por todo ello, el payback period de la planta solar fotovoltaica quedaría a expensas del comportamiento de los precios de la energía eléctrica en España, aunque sí que se podría adelantar que este periodo de retorno total podría alargarse por encima de los 20 años casi con total seguridad.

7.4.2 CÁLCULO DEL TIR

Mediante el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) trataremos de buscar y argumentar la rentabilidad y viabilidad económica del proyecto o bien poder afirmar la escasa o nula viabilidad económica del mismo a través del uso de esta métrica clave en el mundo de las finanzas.

De cara al cálculo del TIR se tendrá que fijar una cantidad de años la cual determinará la viabilidad del proyecto en función de esos años escogidos. En nuestro caso podremos asumir varios años de viabilidad del proyecto y así obtendremos distintos valores en el valor de esta tasa de retorno con el fin de poder manejar distintas opciones y así seleccionar aquella que más nos interese. Es de especial importancia el tener en cuenta que a más años que seleccionemos mayor el riesgo de que ocurran ciertos incidentes o imprevistos o que los aparatos empleados en la obtención de la energía fotovoltaica como pueden ser los mismos paneles, los inversores o hasta el propio cableado o medidas de protección se averíen o reduzcan su rendimiento reduciendo así la energía producida y por ende los ingresos obtenidos de la explotación.

En el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) se emplea la siguiente fórmula para su obtención teniendo en cuenta los valores del flujo de caja y los años en los que estos valores ocurren:

$$\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Donde:

- **t:** Representa el número de años seleccionados para el proyecto en cuestión.
- **C_t:** Es el flujo de caja neto para el año t.

Por ello, mediante la ecuación previamente indicada se ha extraído la siguiente tabla con los valores del TIR en función de los años seleccionados empezando desde año seleccionado del payback period anteriormente indicado (29 años) en y acabando este plazo en el año 50 de operación.

ESTIMACIÓN DE LA TASA INTERNA DE RETORNO		
AÑO	FLUJO DE CAJA	TIR
AÑO 30	208.937	-49,388%

AÑO 31	321.690	-20,458%
AÑO 32	434.443	-3,611%
AÑO 33	547.196	6,991%
AÑO 34	659.949	13,988%
AÑO 35	772.702	18,769%
AÑO 36	885.455	22,125%
AÑO 37	998.208	24,531%
AÑO 38	1.110.961	26,287%
AÑO 39	1.223.714	27,586%
AÑO 40	1.336.467	28,559%
AÑO 41	1.449.220	29,294%
AÑO 42	1.561.973	29,854%
AÑO 43	1.674.726	30,283%
AÑO 44	1.787.479	30,613%
AÑO 45	1.900.232	30,869%
AÑO 46	2.012.985	31,068%
AÑO 47	2.125.738	31,222%
AÑO 48	2.238.491	31,343%
AÑO 49	2.351.244	31,437%
AÑO 50	2.463.997	31,511%

Tabla 19: Estimaciones de TIR.

Se observa como el TIR comienza a resultar en valores positivos a partir del año 33, sin embargo, por lo general no compensa que el proyecto simplemente aporte un TIR positivo, por lo que habría que fijar un valor mínimo aceptable y observar si compensa los años de espera hasta obtener ese valor de TIR.

Otro factor a tener en cuenta sería la amortización y esperanza de vida de la aparamenta a utilizar. Sin tener en cuenta el cableado y los sistemas de protección de nuestra planta solar fotovoltaica, los paneles fotovoltaicos empleados y los inversores suelen tener por lo general una esperanza de vida que por lo general cumplen todos aun pudiendo variar en un intervalo de unos 5 años más o menos.

Por el lado de los paneles solares, la esperanza de vida media puede variar entre los 25 y 30 años y en algunas ocasiones pudiendo estirarse hasta los 35 años. Generalmente no dejan completamente de funcionar tras este periodo de vida útil, pero si experimentan una notable bajada en su rendimiento hasta el punto de poder llegar a reducirse alrededor de un 30% en su rendimiento lo que en nuestro caso podría acarrear importantes bajadas en los niveles de ingresos a raíz de la explotación y aumentar los años para recibir el TIR esperado.

En cuanto a los inversores solares suelen tener una vida útil promedio de 10 a 15 años. En el caso del fabricante seleccionado, SUNGROW, nuestro inversor tendrá una garantía de unos 15 años a partir de la cual se pueden experimentar notables descensos en el rendimiento de este. Este hecho podría perjudicar las predicciones económicas de la planta aumentando así el payback period y aumentando los años para recibir el TIR deseado.

Capítulo 8. CONCLUSIONES

8.1 CONCLUSIONES VIABILIDAD TÉCNICA

A fin de poder completar la evaluación sobre la viabilidad o no del proyecto en cuestión, se analizará durante el presente apartado los detalles técnicos de este trabajo para poder establecer ciertas reflexiones acerca del dimensionamiento realizado y unas posibles opciones o escenarios que podrían ser mas beneficiosos para el proyecto dependiendo de una serie de circunstancias.

A continuación, se mostrarán en una tabla la serie de resultados y datos obtenidos en base al dimensionamiento realizado:

RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA SOLAR	
Demanda a Suministrar Mensualmente	3.050 MWh
Potencia Instalada	36.587,09 MWh
Performance Ratio Esperado	73%
Panel Seleccionado	HUAWEY 250 Wp
Producción Anual de Energía	67.661,41 MWh
Inversor Seleccionado	SUNGROW SG8800UD-MV
Eficiencia de la planta	14,03%
Performance Ratio Final	76,54%

Tabla 20: Resumen de los resultados de dimensionamiento.

Se puede observar, por los datos y razonamientos aportados por el apartado referente al dimensionamiento eléctrico, como de entre las opciones que se barajan se van descartando aquellas menos beneficiosas para nuestro proyecto fijando en todo momento el objetivo de generación de suministrar la demanda correspondiente al municipio de Motilla del Palancar.

A pesar de establecer una generación anual 67.661,4 MWh, esta generación podrá caer notablemente a medida que avancen los años de operación, aun así, se contará con un margen de generación ya que si la demanda mensual será de 3.050 MWh la anual acumulará un total de 36.600 MWh por lo que contaremos con un margen de 31.061,4 MWh que podrá ser suministrado a otros puntos de generación y así ampliar el beneficio económico de la planta solar.

Sobre el uso de los inversores en la planta solar fotovoltaica, se usarán un total de 4 inversores de 8,8 MW de potencia nominal funcionando a 9,15MW para cubrir la potencia instalada de la planta. Esto, en unidades unitarias, implica que los inversores trabajarán al 1,04p.u de su potencia lo que no implica graves problemas de cara a su funcionamiento ni respecto a su fiabilidad a largo plazo.

Con respecto a las conexiones entre paneles y el número de cadenas, se ha optado por conectar el máximo número posible de paneles en serie con el fin de reducir el número de cadenas que a su vez reduce el gasto en cableado.

Respecto a la conexión de estas cadenas a los inversores solares se ha optado por emplear cajas de combinadas de 6 y 4 entradas. Con el gran número de cadenas de las que se disponía en la planta y teniendo solo 4 inversores con 8 entradas cada uno resultaba de especial importancia el optimizar al máximo el número de cajas combinadas con el fin de acumular al máximo el número de entradas por caja combinada para reducir al mínimo el número de cajas combinadas a emplear.

Con todo lo anterior y en un escenario en el que la demanda eléctrica en la zona no variaría mas que un ligero descenso con los años que se compensaría con un descenso en la

producción por la pérdida de rendimiento de los equipos, podríamos afirmar que la planta cumple con las necesidades a las que se le impone servir y es viable técnicamente hablando.

Barajando otro posible escenario en el que la demanda pueda aumentar se tendría que plantear la posible renovación de equipos tanto relacionado con los inversores como con las células fotovoltaicas, pues estas podrían reducir su rendimiento hasta un 30%. Esta reducción en su rendimiento no supondría un gran suceso para la situación actual, pero si la demanda aumenta sí que se tendría que remediar esta reducción del rendimiento.

Con el fin de determinar el aumento de demanda que requeriría que la planta fuese renovando el material con bajo de rendimiento por nuevo material se llevará a cabo el siguiente análisis.

Si la vida útil de las placas solares empleadas es de 30 años y al final de su vida útil el rendimiento de estas ha podido alcanzar un 70% de su rendimiento inicial y suponiendo que esta degradación en su rendimiento es lineal exceptuando el primer año de operación en el que se suele experimentar una bajada del rendimiento del 3%. Se estructura el siguiente cálculo para el fin de la vida útil de las placas solares:

$$\text{Producción Inicial} * \text{Rendimiento Final} = \text{Demanda Inicial} * (1 + \% \text{ de aumento de demanda})$$

$$\% \text{ de aumento de demanda} = \left(\frac{\text{Producción Inicial} * \text{Rendimiento Final}}{\text{Demanda Inicial}} - 1 \right) * 100 =$$

$$\left(\frac{67.661,4 \text{ MWh} * 0,7}{36.587,09 \text{ MWh}} - 1 \right) * 100 = 29,45\%$$

A partir de lo anteriormente obtenido, la lectura que se extrae será que, si las proyecciones de demanda reflejan un aumento SUPERIOR al 29,45% para los próximos 30 años desde la instalación de los equipos, sería conveniente que se renovasen los equipos para antes de esos 30 años en función del aumento de demanda que se estime.

8.2 CONCLUSIONES VIABILIDAD ECONÓMICA

Durante el apartado a continuación se procederá con la evaluación de los aspectos económicos del proyecto a fin de poder determinar la viabilidad del mismo, los riesgos económicos que requiere asumir y las posibilidades que el proyecto presenta ante sus inversores.

Inicialmente se lleva a cabo un recuento del total de los gastos de inversión. Diferenciados en tres tipos de gastos según sea terreno, aparamenta o gestión administrativa se suma un total de 24.104.949 €. Para un proyecto como el nuestro en el que la fuente de ingresos vendrá directamente de la explotación de la misma planta fotovoltaica esta cantidad sería inadmisibles y por ello se recurren a los fondos de ayuda. Concretamente, aprovechando que la zona está calificada por el gobierno regional como zona de extrema despoblación y ser un proyecto relacionado con energía renovable nos beneficiaremos de los fondos NextGeneration UE, concretamente de un total de 20.007.107,9€. Esta cantidad está basada en el porcentaje de ayuda que han recibido en pasadas convocatorias de este fondo de ayudas, proyectos similares al de este trabajo de fin de grado.

Tras el análisis del CAPEX se estableció un total de 1.170.784€ en términos de OPEX o también conocidos como gastos de operación y mantenimiento. Esta cantidad a pesar de ser elevada es el total de los gastos anuales con el fin de poder optimizar al máximo la producción de energía eléctrica para maximizar las ganancias a raíz de la explotación.

Una vez obtenido el coste total necesario para cubrir la instalación, operación y mantenimiento de la planta se lleva a cabo el análisis de ingresos. Cabe señalar que en este apartado juegan un papel clave las estimaciones y el comportamiento de la oferta, la demanda y el precio de la energía durante los próximos años, así como las decisiones políticas relacionadas con la energía que se adopten. Si bien durante esta estimación de ingresos se emplean las predicciones publicadas por el OMIP, estas estimaciones pueden cambiar a raíz de un giro de la política global de la energía o un cambio en los hábitos de consumo.

Como anteriormente se ha introducido, otro factor a tener en cuenta viene a ser que la demanda de energía eléctrica en España lleva una tendencia a la baja durante los últimos años y nada parece indicar que vaya a cambiar durante los próximos años. Por tanto, a la hora de calcular los ingresos obtenidos a partir de la demanda eléctrica y el precio al que se pagará esta demanda habrá que tener en cuenta esta tendencia a la baja que está teniendo la demanda eléctrica en nuestro país. Esta bajada en la demanda de energía eléctrica tuvo un pequeño repunte, aunque desde entonces, exceptuando 2021 pues era el año postpandemia no se ha repetido este suceso. La curva de demanda a nivel nacional en GWh en España es la siguiente:

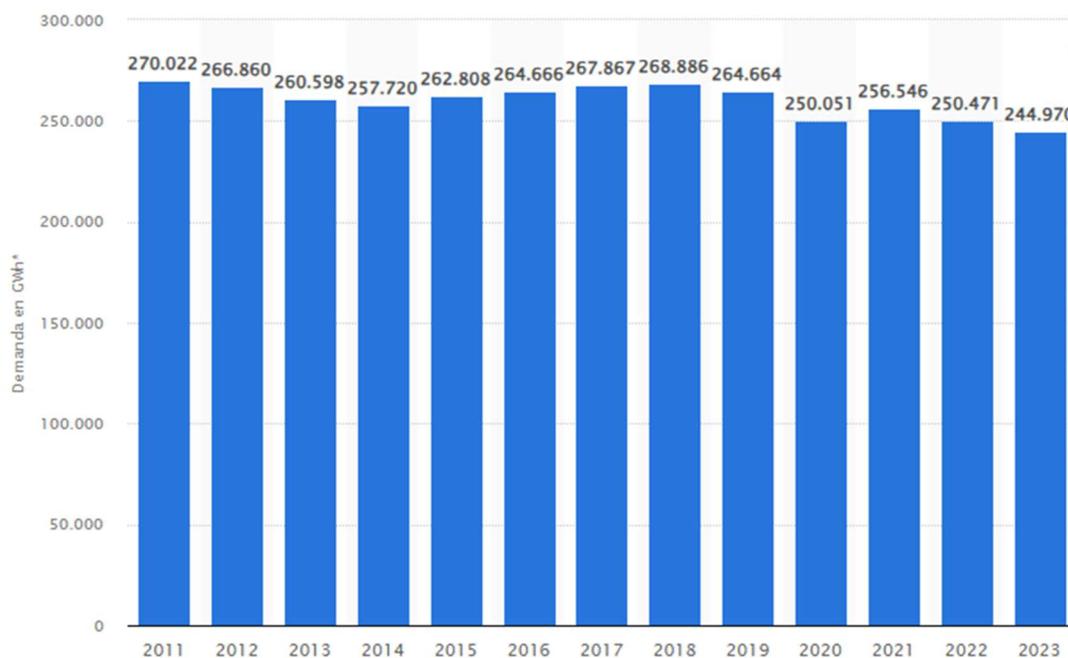


Tabla 21: Demanda eléctrica 2011-2023

Se puede observar cómo desde 2011 la demanda en 2023 cayó un total de 25.052 GWh y que cada año desde 2021 la demanda ha ido cayendo alrededor de 6.000GWh por año lo que representa una bajada de alrededor de un 2,2% cada año. Por tanto, a pesar de no influir en nuestro cálculo a día de hoy para la demanda a cubrir en Motilla del Palancar si que esta

tendencia a la baja de la demanda eléctrica en España es un factor a tener en cuenta de cara a posibles consideraciones del precio de la electricidad en el futuro.

Finalmente, teniendo en cuenta las previsiones del OMIP y fijando la producción de energía eléctrica fija suponiendo que las variaciones de rendimiento serán despreciables, se obtiene la estimación de ingresos. A raíz de esta estimación de ingresos se llevan a cabo el cálculo de dos métricas financieras, el “Payback Period” y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Referente al Payback Period, el valor obtenido resulta siendo de unos 29 años en total con el fin de comenzar a obtener flujos de caja positivos. A la hora de evaluar este resultado, se pueden optar por distintos puntos de vista:

- Si se asume que los equipos no presentarán averías ni costes extra a los ya reflejados en OPEX y que trabajaran al máximo o cercano al máximo rendimiento es posible que esta cifra sea aceptable y por tanto el proyecto sea viable en el largo plazo.
- Teniendo en cuenta las numerosas incógnitas que presenta el largo plazo y más para un periodo de 29 años y teniendo en cuenta que a partir de las estimaciones del OMIP aportan una escasa diferencia entre el dinero obtenido por la explotación de la planta solar y el dinero requerido por mantenimiento y operación reflejado en el OPEX, este periodo de 29 años podría alargarse. Si este periodo se alargara habría que llevar a cabo un estudio más profundo de la viabilidad del proyecto ya que la vida útil de las placas solares es de 30 años y a partir de ese periodo el funcionamiento y rendimiento de las placas puede verse seriamente afectado requiriendo posibles reemplazamientos de material y llevando a cabo unos nuevos costes de inversión en la planta. En este segundo escenario, la viabilidad económica del proyecto se vería mucho más cuestionada pues de cara a posibles nuevos gastos de inversión, la planta tendría que entrar nuevamente en convocatorias de financiación de ayudas y los términos y condiciones para recibir estas ayudas y los fondos destinados a estas ayudas pueden variar significativamente en los próximos 30 años dependiendo de los objetivos y estado de la unión europea.

A partir de los resultados que arroja la estimación del TIR se puede extraer la misma conclusión. El valor del TIR comienza a alcanzar unos valores razonables a partir de los años fuera de la vida útil de las placas solares empleadas por tanto estos valores casi con total seguridad habría que modificarlos pues habría que incluir nuevos gastos en los costes de inversión de la planta. Con todo ello, se puede afirmar que los valores de TIR no alcanzan niveles razonables que respalden una inversión como la que acarrea la planta solar fotovoltaica y menos para un periodo de años en el corto plazo. Esto no hace más que empeorar las razones para invertir, pues a más años tenga el plazo de la inversión mayores son los beneficios esperados. Sin embargo, en el caso de nuestra planta solar los beneficios no son notablemente altos y menos aun teniendo en cuenta los gastos de inversión que seguramente habría que incluir pasados los 30 años de operación de la planta.

A modo de resumen, el periodo de retorno de la planta y los valores obtenidos por la estimación de la tasa interna de retorno en el mejor de los casos hace entender que este proyecto en caso de ser viable lo sería a largo plazo entrando en innumerables incógnitas y situaciones que se tendrían que dar para favorecer la situación económica de la planta. Lo que sí se puede entender a raíz de las estimaciones económicas de la planta solar es que, en caso de ser viable, el beneficio, al menos con las estimaciones de las que se dispone hoy en día, sería mínimo llegando a no compensar en la mayoría de los casos el desembolso inicial y los pagos anuales de los que requiere el funcionamiento de la planta.

Por motivos de escaso beneficio, la naturaleza del proyecto podría ser más a través de la vía pública en lugar de una empresa privada ya que rara vez una firma o particular correría tan alto riesgo como el que requiere el presente proyecto por un posible beneficio tan pequeño. En cambio, una administración pública con el fin de cumplir ciertos objetivos y plazos para la descarbonización de la energía y el cumplimiento de objetivos de instalación de potencia fotovoltaica sí que podría considerar financiar el proyecto ya que a pesar de no reportar beneficio sí que ayudaría a los vecinos de la localidad a disponer de energía barata y limpia.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [2] Objetivos de Desarrollo Sostenible Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/#>
- [3] Datos de Generación y Demanda en España, REE Available: <https://www.ree.es/es/datos/aldia>
- [4] Grupo Banco Mundial Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/12/14/progress-on-sustainable-energy-policies-critical-to-post-pandemic-recovery-slower-than-in-the-past>
- [5] Energy Spacwell Available: <https://www.dexma.com/es/blog-es/el-mix-energetico-en-espana-el-crecimiento-de-las-energias-renovables/>
- [6] Datos Sistema Eléctrico Español 2001 Available: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia_2001.pdf
- [7] PNIEC 2021 Available: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf
- [8] PNIEC 2023 (Actualización) Available: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/_layouts/15/Borrador%20para%20la%20actualizaci%C3%B3n%20del%20PNIEC%202023-2030-64347.pdf
- [9] Solar Reviews Available: <https://www.solarreviews.com/es/blog/cuales-son-los-paneles-solares-mas-eficientes#:~:text=Hoy%20en%20d%C3%ADa%2C%20la%20mayor%20eficiencias%20del%202022%20%25%20o%20m%C3%A1s.>
- [10] Archivos de Proyectos Anteriores, KPMG.
- [11] EAVE Available: <https://eave.es/blog/la-evolucion-de-la-eficiencia-de-los-paneles-fotovoltaicos/>
- [12] Energía Estratégica Available: <https://energiaestrategica.es/mercado-capacidad-ayudas-baterias/>
- [13] MITECO, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España Available: <https://www.miteco.gob.es/es.html>

- [14] Reto Demográfico, Gobierno Autónomo de Castilla la Mancha Available:
<https://retodemografico.castillalamancha.es/deducciones-fiscales-pueblo-pueblo>
- [15] Estrategia frente a la Despoblación en Castilla-La Mancha, Gobierno Autónomo de Castilla la Mancha Available:
https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20220722/dossier_9_digital_3.pdf
- [16] Comisionado del Reto Demográfico, Estrategia Regional Frente a la Despoblación en Castilla-La Mancha, Gobierno Autónomo de Castilla la Mancha Available:
<https://castillalamancha.es/gobierno/vicepresidencia/estructura/comretdem/actuaciones/estrategia-regional-frente-la-despoblaci%C3%B3n-en-castilla-la-mancha-2021-2031>
- [17] Motilla del Palancar Weather Forecast Available: <https://www.weather-forecast.com/locations/Motilla-del-Palancar/forecasts/latest>
- [18] El clima y el tiempo promedio en todo el año en Motilla del Palancar Available:
<https://es.weatherspark.com/y/40292/Clima-promedio-en-Motilla-del-Palancar-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [19] Greening Available: <https://greening-e.com/como-ha-evolucionado-la-energia-solar-a-lo-largo-de-la-historia/>
- [20] Vivesolar Available: <https://vivesolar.com/5-plantas-fotovoltaicas-en-china-y-su-impacto-en-la-industria/#:~:text=La%20planta%20Huanghe%20Hydropower%20Golmud,%2C%20provincia%20de%20Qinghai%2C%20China.>
- [21] Historia de las energías renovables Available:
<https://estudiarenergiasrenovablesonline.es/historia-energia-solar-fotovoltaica/>
- [22] El Periódico de la Energía Available:
<https://elperiodicodelaenergia.com/historia-de-la-fotovoltaica-en-espana-desde-sus-inicios-en-1984-a-sus-objetivos-para-2030/>
- [23] Iberdrola Available: <https://www.iberdrolaespana.com/sostenibilidad/historia-energia-solar-espana>
- [24] Novaluz Available: <https://novaluz.es/blog/como-obtiene-energia-solar-placas-solares-de-tu-empresa/>
- [25] Autosolar Available: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-tipos-de-instalaciones-fotovoltaicas-existen>
- [26] Calculadora PVGIS Available : <https://pvgis.com/>

- [27] Tramitación de Expedientes de Energías Renovables Available:
https://mpt.gob.es/dam/es/portal/delegaciones_gobierno/delegaciones/madrid/proyectos-ci/TRAMITACION-DE-EXPEDIENTES-ENERGIAS-RENOVABLES/Tramitacion_de_expedientes_de_energias_renovables.pdf
- [28] Expansión datos de paro por municipio Available:
<https://datosmacro.expansion.com/paro/espana/municipios/castilla-la-mancha/cuenca/motilla-del-palancar>
- [29] Datos sobre Consumo Eléctrico, Gobierno Autónomo de Castilla la Mancha Available:
<https://estadistica.castillalamancha.es/datos-sobre-consumo-electrico>
- [30] Calculadora Separación entre Placas Solares, MonSolar Available:
<https://www.monsolar.com/separacion-paneles-solares>
- [31] Huawei Energía Renovable Available:
https://digitalpower.huawei.com/en/?utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=web&utm_content=huawei%20renewable%20energy&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAxKy5BhBbEiwAYiW--6N7mpyBXoGnSpM8nsBFeZcHKzIZuoki-V1BOj2ValxA8UJwK_n2RoC9d8QAvD_BwE
- [32] Inversor SUNGROW Available:
<https://en.sungrowpower.com/productDetail/3114/1-x-modular-inverter-sg6600-8800ud-mv>
- [33] Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre Available:
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/12/01/1955>
- [34] Real Decreto 413/2014, de 6 de junio Available:
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-6123>
- [35] Aval de puntos de conexión en instalaciones fotovoltaicas Available:
<https://unocorreduria.com/aval-puntos-conexion-instalaciones-fotovoltaicas/#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20Real%20Decreto%2Dley,%E2%82%AC%20por%20cada%20kW%20instalado.>
- [36] Productos en la lucha contra incendios Available: <https://www.antifuego-barez.es/sistemas-productos-equipos-contra-incendios> y <https://www.amazon.es>
- [37] Productos de protección ante fallo eléctrico Available: https://www.ingeteam.com/es-es/sectores/energia-fotovoltaica/s15_24_p/productos.aspx y <https://www.amazon.es> y <https://www.suministroselectricos.es/protecciones>

- [38] Cable eléctrico Ignifugo Available: https://www.luxtock.com/cable-electrico/resistente-al-fuego/?srsltid=AfmBOorRBT8a6QU94cpTnpC2W3uqY5Gd0jzZ11RiMFi8BPQyy_3WtpRj
- [39] Proyecciones Macroeconómicas BDE Available: <https://www.bde.es/wbe/es/publicaciones/analisis-economico-investigacion/proyecciones-macro-informe-trimestral/proyecciones-marzo-2024.html>
- [40] Proyecciones Demanda Eléctrica OMIP Available: <https://www.omip.pt/es/dados-mercado?date=2024-10-26&product=EL&zone=ES&instrument=FTB>
- [41] Estimaciones Limpieza Placas Solares Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-limpiar-placas-solares/#:~:text=El%20servicio%20de%20limpieza%20de,20%E2%82%AC%20por%20panel%20instalado.>
- [42] Estimaciones Mantenimiento Placas Solares Available: <https://www.habitissimo.es/presupuestos/hacer-mantenimiento-placas-solares>
- [43] Subvenciones Proyectos Similares Available: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/plan-nacional-regadios/informaciones-publicas/pp_colleras.aspx
- [44] Garantía Inversores Available: <https://pnp.energy/shop/p-p0782-inversor-sungrow-sg110-15-anos-de-garantia-1949>
- [45] Garantía de Placas Solares Available: <https://solarplus.es/vida-util-de-paneles-solares>