



Universidad
Internacional
de Andalucía

TÍTULO

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMA DE RECARGA DE VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS BASADO EN ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

AUTOR

Efrén Miló Travieso

Director Dr. Joaquín Tovar Pescador
Instituciones Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Huelva
Curso *Máster Universitario en Tecnología Ambiental (2024/25)*
© Efrén Miló Travieso
© De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento 2024



Universidad
Internacional
de Andalucía



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMA DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS BASADO EN ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Efrén Miló Travieso

Trabajo entregado para la obtención del grado de Master en
Tecnología Ambiental

Modalidad: "Profesional"

Noviembre del 2024

Director: Joaquín Tovar Pescador

Curso académico 2024-2025

D. Joaquín Tovar Pescador, DNI: y cargo catedrático de Física Aplicada del Departamento de Física de la Universidad de Jaén

INFORMA:

Que el trabajo titulado “**DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMA DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS BASADO EN ENERGÍA FOTOVOLTAICA**” presentado por **D. Efrén Miló Travieso, con N.I.E.**, ha sido realizado en el departamento de Física de la Universidad de Jaén, bajo mi dirección, y autorizo su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster** (Modalidad: Proyecto Técnico), para el Máster Universitario en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

En Huelva, a de noviembre de 2024



Fdo.: Joaquín Tovar Pescador

RESUMEN

El trabajo presenta el diseño y análisis de un sistema de recarga de vehículos eléctricos basado en energía fotovoltaica, enfocado en su implementación en el entorno del Campus de la Rábida de la Universidad Internacional de Andalucía. El objetivo principal fue desarrollar una solución sostenible que aproveche la energía solar para la recarga de vehículos eléctricos, contribuyendo así a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, se realizó un análisis que abarcó aspectos técnicos, económicos y ambientales, utilizando como herramienta de simulación PVsyst.

El diseño del sistema incluyó la selección de los componentes, la determinación de la orientación y la inclinación óptimas de los paneles solares, y la evaluación del impacto de factores como el sombreado. El sistema fotovoltaico propuesto tiene una potencia nominal de 6 kWp y está configurado para aprovechar al máximo la radiación solar disponible en la región, con el objetivo adicional de inyectar el excedente de energía generada a la red eléctrica del campus.

Los resultados de la simulación indicaron que el sistema es capaz de generar 8737,18 kWh anuales, con una producción específica de 1456 kWh/kWp/año. Estos valores reflejan la eficiencia del sistema bajo las condiciones climáticas del lugar y destacan su capacidad para satisfacer las necesidades energéticas del estacionamiento, al mismo tiempo que contribuye significativamente a la reducción del consumo de energía de fuentes convencionales. El coeficiente de rendimiento del sistema fue de 72,76%, lo que demuestra un uso eficiente de la energía generada, a pesar de las pérdidas inevitables por sombreado parcial durante ciertos meses del año.

Desde una perspectiva económica, el análisis financiero reveló que el proyecto es rentable y sostenible a largo plazo. El Valor Presente Neto (VPN) del sistema fue de 10,545.70 EUR, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 34.39% y un periodo de recuperación de la inversión de 7.3 años. Además, se calculó un Retorno sobre la Inversión (ROI) del 174.6%, lo que confirma que la inversión es atractiva y viable económicamente.

En términos ambientales, el sistema diseñado no solo contribuye a la sostenibilidad energética del campus, sino que también tiene un impacto positivo en la reducción de emisiones de CO₂. Se estima que a lo largo de la vida útil del sistema se evitará la emisión de una cantidad significativa de toneladas de CO₂ a la atmósfera, alrededor de 32.9t, lo que refuerza el compromiso con la mitigación del cambio climático.

En conclusión, el trabajo demuestra la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar un sistema de recarga de vehículos eléctricos basado en energía

fotovoltaica en un entorno universitario. Los resultados obtenidos validan la propuesta como una solución replicable y eficaz para promover la movilidad sostenible y reducir el impacto ambiental en el sector del transporte.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, vehículos eléctricos, recarga de vehículos eléctricos, sostenibilidad, reducción de CO₂, infraestructura fotovoltaica, Pvsyst.

ABSTRACT

This work presents the design and analysis of a photovoltaic-based electric vehicle charging system, focused on its implementation within the environment of the Campus of La Rábida at the International University of Andalusia. The primary objective was to develop a sustainable solution that harnesses solar energy for electric vehicle charging, thereby contributing to the reduction of fossil fuel dependence and the decrease in greenhouse gas emissions. To achieve this, a comprehensive analysis was conducted, covering technical, economic, and environmental aspects, using advanced simulation tools such as PVsyst.

The system design included the careful selection of components, determination of the optimal orientation and tilt of the solar panels, and the evaluation of factors such as shading impact. The proposed photovoltaic system has a nominal power of 6 kWp and is configured to maximize the utilization of available solar radiation in the region, with the additional goal of injecting the excess energy generated into the campus's electrical grid.

Simulation results indicated that the system is capable of generating 8737.18 kWh annually, with a specific yield of 1456 kWh/kWp/year. These values reflect the system's efficiency under the local climatic conditions and highlight its ability to meet the energy needs of the parking facility while significantly contributing to the reduction of conventional energy consumption. The system's Performance Ratio (PR) was 72.76%, demonstrating efficient use of the generated energy despite unavoidable losses due to partial shading during certain months of the year.

From an economic perspective, the financial analysis revealed that the project is profitable and sustainable in the long term. The system's Net Present Value (NPV) was 10,545.70 EUR, with an Internal Rate of Return (IRR) of 34.39% and a payback period of 7.3 years. Additionally, a Return on Investment (ROI) of 174.6% was calculated, confirming that the investment is economically attractive and viable.

In environmental terms, the designed system not only contributes to the campus's energy sustainability but also has a positive impact on reducing CO₂ emissions. It is estimated that over the system's lifetime, the emission of a significant amount of CO₂, approximately 32.9 tons, will be avoided, reinforcing the commitment to climate change mitigation.

In conclusion, this work demonstrates the technical, economic, and environmental feasibility of implementing a photovoltaic-based electric vehicle charging system in a university setting. The results obtained validate the proposal as a replicable and

effective solution for promoting sustainable mobility and reducing the environmental impact in the transportation sector.

Keywords: Photovoltaic energy, electric vehicles, electric vehicle charging, sustainability, CO₂ reduction, photovoltaic infrastructure, PVsyst.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE	4
2.1. Energías renovables.....	4
2.2. Automóvil eléctrico	9
2.2.1. Ventajas e inconvenientes del vehículo eléctrico	11
2.2.2. Marco regulatorio del vehículo eléctrico.....	14
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Componentes de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos .	16
3.2. Tipos y modos de recarga de una Infraestructura de recarga de vehículos eléctricos	20
3.3. Conceptos generales asociados a la energía solar fotovoltaica	22
3.4. Pvsyst	25
3.5. Componentes de una instalación solar fotovoltaica.....	26
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.....	30
4.1. Emplazamiento	30
4.2. Simulación en Pvsyst	33
4.2.1. Orientación	33
4.2.2. Definición del Sistema de Red.....	34
4.2.3. Diseño físico del estacionamiento.....	38
4.2.4. Análisis del entorno y el efecto de sombreado sobre el sistema.....	39
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
5.1. Análisis del Balance de Emisiones de CO ₂	49
5.2. Análisis de viabilidad económica y financiera	50
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	56
REFERENCIAS	58
ANEXOS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capacidad solar fotovoltaica y adición.	9
Figura 2. Thomas Edison y un coche eléctrico en 1913	11
Figura 3. Puntos de recarga 2020-2023 UE	14
Figura 4. Esquema de IRVE.....	17
Figura 5. Cargador de vehículos eléctricos INGEREV CITY Duo.....	18
Figura 6. Diagrama de componentes de una estación de recarga de un VE	18
Figura 7. Diagrama de Protecciones de la (IRVE).....	19
Figura 8. Tipos de conectores de vehículos eléctricos.....	20
Figura 9. Tipos de radiación solar.....	23
Figura 10. Geometría solar	24
Figura 11. Localización del proyecto, Universidad Internacional de Andalucía.....	30
Figura 12. Localización del proyecto. Estacionamiento	31
Figura 13. Optimización del ángulo de inclinación.....	33
Figura 14. Optimización del ángulo de inclinación.....	34
Figura 15. Definición del módulo fotovoltaico. Datos básicos	35
Figura 16. Dimensiones y tecnología del módulo	35
Figura 17. Inversor de red. Parámetros principales	36
Figura 18. Curva de eficiencia del inversor de red	36
Figura 19. Diagrama de conexión.....	37
Figura 20. Vista lateral del estacionamiento	38
Figura 21. Vista inferior del estacionamiento	39
Figura 22. Vista superior del estacionamiento.....	39
Figura 23. Perspectiva de la instalación e influencia del sombreado.....	40
Figura 24. Escenario de los paneles solares sobre el tejado del estacionamiento ...	41
Figura 25. Ubicación y dimensiones de los paneles solares en tejado del estacionamiento.....	41
Figura 26. Diagrama de Iso Shading. Ángulo de inclinación/Azimut:20°/45°	42
Figura 27. Coeficiente de rendimiento.....	43
Figura 28. Producción normalizada (por kWp instalado).....	44
Figura 29. Diagrama de pérdidas.....	46
Figura 30. Diagrama de entrada y salida diaria de energía	47
Figura 31. Distribución de potencia de salida del sistema.....	48
Figura 32. Emisiones de CO ₂ ahorradas.....	50
Figura 33. Ganancia anual (EUR) de la instalación	53
Figura 34. Flujo de caja acumulativo de la instalación	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores de energía renovable 2021	8
Tabla 2. Características de los diferentes tipos de recarga.	20
Tabla 3. Características de las diferentes tomas de corriente.	21
Tabla 4. Características del arreglo fotovoltaico	37
Tabla 5. Pérdidas del arreglo fotovoltaico	37
Tabla 6. Balance de resultados	45
Tabla 7. Costos del Sistema	51
Tabla 8. Costos de operación.....	52
Tabla 9. Activos depreciables.....	52
Tabla 10. Recuperación de la inversión	53

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En un mundo en constante búsqueda de soluciones sostenibles y amigables con el medio ambiente, la humanidad se enfrenta a uno de sus desafíos más apremiantes: la necesidad de abordar el cambio climático y reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Durante el año 2022, la energía renovable siguió siendo afectada por la pandemia de COVID-19 y experimentó una mayor influencia debido a desarrollos económicos y geopolíticos. Las consecuencias de la pandemia y un aumento en los precios de las materias primas perturbaron las cadenas de suministro de energía renovable y ocasionaron retrasos en proyectos. Además, un fuerte aumento en los precios de la energía a finales de 2021 y la invasión de Ucrania por parte de la Federación Rusa a principios de 2022 generaron un incremento en el debate sobre cómo las energías renovables pueden contribuir a mejorar la seguridad y la independencia energética al reemplazar los combustibles fósiles. Al mismo tiempo, organizaciones internacionales trazaron rutas concretas para lograr un sistema de energía global con emisiones netas cero, y un número récord de países estableció objetivos de emisiones netas cero para finales de año (European Commission, 2022).

En 1987, el Informe Brundtland, comisionado por las Naciones Unidas, proporcionó la primera descripción del concepto de desarrollo sostenible como: "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades" (Organización de las Naciones Unidas, 1997, p. 416).

En este escenario global, la movilidad eléctrica emerge como una de las respuestas más prometedoras para mitigar el impacto ambiental y la dependencia de los combustibles fósiles en el sector del transporte. Los vehículos eléctricos (VE) no solo ofrecen una eficiencia superior en comparación con los vehículos de combustión interna, sino que también reducen significativamente las emisiones locales y globales de contaminantes, lo que los convierte en una pieza clave en la transición hacia un futuro más sostenible y ecológico (Shubham y col., 2017).

Sin embargo, la adopción masiva de vehículos eléctricos plantea un conjunto de desafíos significativos, uno de los cuales es la creación de una infraestructura de recarga que sea eficiente, accesible y, lo que es igual de importante, respetuosa con el entorno. La recarga de vehículos eléctricos es un componente crítico de su viabilidad como alternativa a los automóviles de combustión interna, y su expansión requiere un enfoque ingenioso y sostenible. Este desafío, en particular, ha estimulado la investigación y el desarrollo de sistemas de recarga más avanzados y amigables

con el medio ambiente, que buscan aprovechar las fuentes de energía renovable (Sperling y col., 2009).

La progresiva implantación del Vehículo Eléctrico, con el año 2035 como límite para la comercialización de vehículos basados en energías fósiles, plantean la necesidad de infraestructuras públicas para su reabastecimiento. En la actualidad estos puntos de recarga son muy escasos, constituyendo una de las grandes dificultades para quienes se plantean la adquisición de esta nueva tecnología (REN21: Renewables Now, 2022). Por lo que el presente trabajo aborda este desafío crítico, proponiendo una solución innovadora que combina la tecnología de energía solar fotovoltaica con la carga de vehículos eléctricos.

La energía solar fotovoltaica, como fuente de energía renovable, ofrece una oportunidad única para alimentar los sistemas de recarga de VE de manera ecológica y económicamente viable. La abundante radiación solar disponible en muchas regiones del mundo la convierte en una opción atractiva para abastecer de energía limpia y sostenible. Sin embargo, diseñar y analizar un sistema de recarga de VE basado en energía fotovoltaica no es una tarea trivial, ya que involucra una serie de desafíos técnicos y económicos que deben ser abordados de manera integral. (Miranda y col., 2015).

Este trabajo tiene como objetivo principal diseñar un sistema de recarga de vehículos eléctricos en el entorno del Campus de la Rábida que utilice la energía fotovoltaica como fuente de energía primaria y analizar su integración arquitectónica, su viabilidad técnica, económica y ambiental. Para ello, se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la carga de VE y la energía solar fotovoltaica, se desarrollará un modelo teórico del sistema propuesto y se llevarán a cabo simulaciones y análisis detallados para evaluar su desempeño en diversas condiciones. Como metodología de implementación del sistema fotovoltaico, utilizaremos Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) como herramienta fundamental de análisis y diseño de la instalación.

Esta investigación tiene el potencial de impulsar aún más la adopción de vehículos eléctricos y contribuir a la transición hacia un futuro de movilidad más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Además, este estudio pretende servir como una fuente de información y guía para investigadores, ingenieros y tomadores de decisiones que buscan implementar soluciones de recarga de automóviles impulsadas por energía solar.

A lo largo de las siguientes secciones, se explorarán en detalle los antecedentes, la metodología y los resultados de esta investigación, con el fin de proporcionar una

comprensión completa del sistema propuesto y sus implicaciones en el contexto de la movilidad eléctrica y la energía renovable.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Energías renovables

La energía renovable es la energía proveniente de recursos que se reponen de forma natural en una escala de tiempo humana. Los recursos renovables incluyen la luz solar, el viento, el movimiento del agua y el calor geotérmico (Owusu y col., 2016).

Tester (2005) define la energía sostenible como "una armonía dinámica entre la disponibilidad equitativa de bienes y servicios energéticos para todas las personas, y la preservación de la Tierra para las generaciones futuras".

El suministro de energía confiable es esencial en todas las economías para calefacción, iluminación, equipos industriales, transporte, etc. (OECD, 2016). Las fuentes de energía renovable tienen un gran impacto en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero cuando se utilizan en lugar de los combustibles fósiles. Estas fuentes de energía se obtienen de manera natural a partir de flujos continuos de energía en nuestro entorno, lo que las hace sostenibles. La sostenibilidad de la energía renovable implica que debe ser inagotable y no perjudicar el entorno al proporcionar bienes y servicios ambientales. Por ejemplo, un biocombustible sostenible no debe aumentar las emisiones netas de CO₂, ni tener efectos negativos en la seguridad alimentaria ni poner en peligro la biodiversidad (Twidell y col., 2015).

Una de las iniciativas para reducir las emisiones de carbono en el transporte es el incremento en la utilización de vehículos eléctricos (VE). A pesar de esta medida y del uso de biocombustibles, como el biojet, menos del 4% de la energía empleada en el transporte proviene de fuentes renovables (REN21, 2022).

Principales tipos de energía renovable.

Energía eólica

La energía eólica es una forma de energía renovable que se genera mediante la conversión de la energía cinética del viento en electricidad. Esto se logra utilizando aerogeneradores, que son grandes turbinas ubicadas en lugares estratégicos, como parques eólicos en tierra o plataformas en el mar. Los aerogeneradores están equipados con aspas que capturan la energía cinética del viento y la convierten en energía mecánica al girar un generador eléctrico. Las modernas turbinas eólicas a gran escala tienen una potencia nominal que varía desde aproximadamente 600 kW hasta 16 MW poseyendo el record la gigantesca Goldwind GWH252-16MW que se eleva sobre el mar en la provincia china de Fujian. La capacidad de generación de electricidad de esta tecnología a nivel global correspondiente al año 2022 fue de 898.8

GW con una tasa de crecimiento entre 2013-2022 del 13% (International Renewable Energy Agency, IRENA, 2023).

Energía Hidroeléctrica

Debido a que el agua tiene una densidad aproximadamente 800 veces mayor que la del aire, incluso un flujo de agua lento o un oleaje moderado puede producir cantidades sustanciales de energía. La conversión de agua en electricidad puede lograrse con una eficiencia de alrededor del 90%, lo cual representa la tasa más alta en el campo de las energías renovables (Ang y col., 2022). La energía hidroeléctrica prácticamente no emite contaminación de partículas, puede aumentar su capacidad rápidamente y es capaz de almacenar energía durante muchas horas (Hamann, 2015).

El potencial técnico anual de generación de energía hidroeléctrica es de 14,576 TWh, con una capacidad total estimada de 3,721 GW. Sin embargo, en la actualidad, la capacidad instalada global de energía hidroeléctrica es mucho menor que su potencial. Según el Informe del Consejo Mundial de Energía, aproximadamente el 50% de la capacidad instalada de energía hidroeléctrica se encuentra en cuatro países, a saber, China, Brasil, Canadá y Estados Unidos (World Energy Council, 2013). Siendo la capacidad mundial de generación de energía eléctrica en el año 2022 de 1,255.5 GW (IRENA, 2023).

Bioenergía

La bioenergía es una fuente de energía renovable derivada de fuentes biológicas. Esta se puede utilizar para el transporte mediante el biodiesel, la generación de electricidad, la cocción y la calefacción. La electricidad obtenida a partir de la bioenergía proviene de una amplia gama de fuentes diferentes, que incluyen subproductos forestales entre los que se encuentran los residuos de madera; residuos agrícolas como los desechos de caña de azúcar; y residuos ganaderos como el estiércol de vaca. Una ventaja de la electricidad basada en biomasa es que a menudo el combustible es un subproducto, residuo o desperdicio de las fuentes mencionadas anteriormente. Lo más importante es que no crea una competencia entre la tierra para alimentos y la tierra para combustible (Urban y col., 2011). En el año 2022 existía una capacidad mundial instalada para la generación de electricidad de 148.9 GW (IRENA, 2023).

Energía geotérmica

La fuente de energía se deriva de la energía térmica generada y retenida en el interior de la Tierra, donde esta energía es la responsable de definir la temperatura de la materia. Este proceso se impulsa gracias al gradiente geotérmico, que es la variación de temperatura que existe entre el núcleo del planeta y su superficie, lo que permite un flujo constante de energía en forma de calor (Dye, 2012). El gradiente geotérmico

promedio es de aproximadamente 30 °C por kilómetro. Hay áreas en el interior de la Tierra que son accesibles mediante perforación, y donde el gradiente es significativamente superior al gradiente promedio (Barbier, 2002). La energía geotérmica es una opción económica, confiable, sostenible y amigable con el medio ambiente, pero tradicionalmente ha estado restringida a regiones cercanas a los límites de las placas tectónicas. Para finales del año 2022 existía una capacidad de generación de electricidad instalada, basada en esta tecnología, de 14.9 GW (IRENA, 2023).

Energía solar

La energía solar es la luz y el calor radiante del Sol que se aprovecha utilizando una variedad de tecnologías, como la fotovoltaica, la energía solar térmica y la arquitectura solar. Es una fuente esencial de energía renovable, y sus tecnologías se dividen en solares pasivas o solares activos, dependiendo de cómo capturan y distribuyen la energía. Las técnicas solares activas incluyen el uso de sistemas fotovoltaicos, energía solar concentrada y calefacción de agua. Las técnicas solares pasivas incluyen la orientación de un edificio hacia el Sol, la selección de materiales con propiedades de masa térmica favorable o de dispersión de luz, y el diseño de espacios que permiten la circulación natural del aire (International Energy Agency, 2011).

La energía solar total absorbida por la atmósfera, los océanos y las masas terrestres de la Tierra es aproximadamente de 122 PW·año = 3,850,000 exajulios (EJ) al año (Smil, 2006). La energía total de la radiación solar que llega a la Tierra es más de 7,500 veces el consumo mundial total de energía primaria anual, que es de 450 EJ (Urban y col., 2011).

Tecnología fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica es una fuente de energía renovable que convierte la luz solar en electricidad mediante el uso de células solares, generalmente fabricadas de silicio, que generan corriente eléctrica cuando los fotones de la luz solar inciden sobre ellas. Las células solares convencionales se componen de la unión de dos áreas de un cristal semiconductor, una de tipo n y otra de tipo p. Las notables diferencias en la concentración de electrones y huecos entre estas dos áreas generan un campo eléctrico dirigido desde la región n hacia la región p. Este campo eléctrico es el encargado de separar los electrones y huecos adicionales que se generan cuando la célula es expuesta a la luz.

Estos sistemas se componen de paneles solares, cada uno conformado por múltiples células que pueden ser conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12 V o 24 V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo. Estas instalaciones pueden ubicarse en el

suelo, en techos o en paredes, y el soporte puede ser fijo o seguir la trayectoria del sol a lo largo del cielo mediante un sistema de seguimiento solar (Palz, 2013).

La cantidad de energía que un sistema fotovoltaico puede generar a lo largo del año depende de la eficiencia de las células solares utilizadas, así como de la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. Un panel solar funcionará mejor cuando el sol esté alto en el cielo y su rendimiento será menor en días nublados o cuando el sol esté bajo en el horizonte, lo que generalmente ocurre en invierno. Dos factores que varían según la ubicación y afectan la eficiencia de la energía solar fotovoltaica son la dispersión y la intensidad de la radiación solar, los cuales pueden diferir considerablemente entre países (Kannan y col., 2016).

Estado de las energías renovables en la actualidad

En el período de 2011 a 2021, la proporción de energía renovable en el suministro mundial de electricidad aumentó del 20% al 28%. El uso de energía fósil disminuyó del 68% al 62%, y la energía nuclear cayó del 12% al 10%. La participación de la energía hidroeléctrica disminuyó del 16% al 15%, mientras que la generación de energía a partir del sol y el viento aumentó del 2% al 10%. La biomasa y la energía geotérmica crecieron del 2% al 3%. Actualmente, hay instalados 3.146 gigavatios en 135 países, y 156 países tienen legislación que regula el sector de la energía renovable. En 2021, China representó casi la mitad del aumento global en la producción de electricidad a partir de fuentes renovables (REN21, 2022).

En 2021, la demanda mundial de electricidad experimentó un sólido repunte, superando los niveles previos a la pandemia de la COVID-19 con un crecimiento del 6%. Gran parte de este aumento se satisfizo mediante un incremento en la generación de electricidad a partir del carbón, que aumentó un 9% y representó más del 50% del incremento en la demanda eléctrica. La generación de energía a partir de fuentes renovables creció más del 5%, aunque eventos climáticos extremos afectaron el nivel general de producción de electricidad renovable, subrayando los posibles impactos del cambio climático en las energías limpias. La energía hidroeléctrica resultó la más perjudicada debido a condiciones de sequía en países que dependen en gran medida de ella, lo que disminuyó la generación en un 15%. Como resultado, la generación de electricidad renovable puso fin a su racha de varios años en la que cubría la mayoría del crecimiento de la demanda de electricidad en todo el mundo (REN21, 2022).

En la Unión Europea (UE-27), la energía eólica, la hidroeléctrica, la solar y la bioenergía siguieron siendo las principales fuentes de toda la electricidad, aumentando del 22% de la generación en 2011 al 37% en 2021. Sin embargo, esto representó una disminución con respecto al máximo del 38% en 2020, un período de baja demanda de electricidad. En el Reino Unido, las energías renovables

representaron el 39% de la generación, ligeramente por debajo del máximo histórico del 43% alcanzado en 2020 (Moore y col., 2022).

Tabla 1. Indicadores de energía renovable 2021 (REN21, 2022).

		2020	2021
Inversión			
Nueva inversión (anual) en energía renovable y combustibles	mil millones USD	342.7	365.9
Capacidad			
Capacidad de energía renovable (incluyendo hidroeléctrica)	GW	2,840	3,146
Capacidad de energía renovable (sin incluir hidroeléctrica)	GW	1,672	1,945
Capacidad hidroeléctrica	GW	1,168	1,195
Capacidad de energía solar fotovoltaica	GW	767	942
Capacidad de energía eólica	GW	745	845
Capacidad de bioenergía	GW	133	143
Capacidad de energía geotérmica	GW	14.2	14.5
Capacidad de energía solar térmica de concentración (CSP)	GW	6.2	6.0
Capacidad de energía oceánica	GW	0.5	0.5

Estado de la energía solar fotovoltaica en la actualidad

La generación de energía solar fotovoltaica mantuvo un papel importante en varios países. Hacia finales de 2021, al menos siete países tenían la capacidad instalada suficiente para satisfacer al menos el 10% de su demanda eléctrica mediante energía solar fotovoltaica, un aumento de dos países con respecto al 2020. Además, al menos 18 países contaban con la capacidad solar fotovoltaica necesaria para cubrir el 5% de su demanda de electricidad, superando los 15 países de 2020. Australia lideró la generación anual de energía solar fotovoltaica con un 15.5%, seguida por España (14.2%), Grecia (13.6%), Honduras (12.9%), los Países Bajos (11.8%), Chile (10.9%) y Alemania (10.9%). En conjunto, la energía solar fotovoltaica representó alrededor del 5% de la generación mundial de electricidad, en comparación con el 3.7% de 2020 (REN21, 2022).

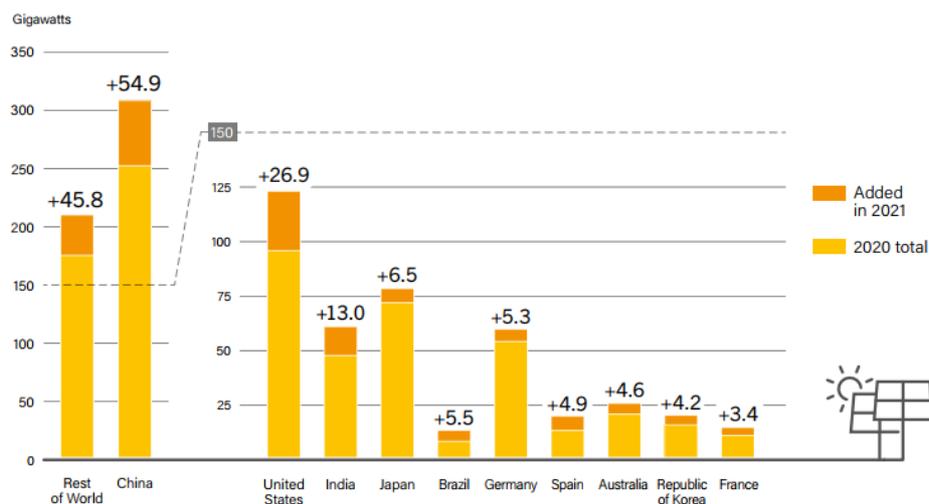


Figura 1. Capacidad solar fotovoltaica y adición.

En el año 2021, España logró una adición récord de capacidad solar de 4.9 GW, un aumento del 44% en comparación con los 3.5 GW agregados en 2020. Esto impulsó la capacidad total del país a 18.5 GW, lo que representó un crecimiento anual del 36.7%. Similar a lo ocurrido en 2020, gran parte de esta capacidad adicional se basó en acuerdos de compra de energía sin subsidios, lo que posicionó a España como líder en este tipo de acuerdos en el mercado europeo. A pesar de que el mercado de autoconsumo en el país representó una parte menor en comparación con los sistemas de gran escala en tierra, la nueva estrategia nacional de autoconsumo, aprobada en 2021, busca expandir este segmento que aún se encuentra en gran parte sin explotar. Además, en el transcurso del año, se llevó a cabo la puesta en marcha de la primera planta solar a gran escala de España, con una capacidad de 40 MW, la cual incorpora sistemas de almacenamiento de baterías de 9 MWh (Red Eléctrica de España, 2021).

A pesar de las ventajas notables de las fuentes de energía renovable, existen ciertas limitaciones, como la interrupción en la generación debido a las variaciones estacionales, ya que la mayoría de estos recursos dependen del clima. Por lo tanto, su aprovechamiento requiere métodos complejos de diseño, planificación y optimización de control. Afortunadamente, los avances tecnológicos continuos en hardware y software están permitiendo a los investigadores científicos abordar estos desafíos de optimización utilizando recursos computacionales aplicables al campo de la energía renovable y sostenible (Baños y col., 2011).

2.2. Automóvil eléctrico

Si se analiza el entorno actual, se aprecia como norma general que las zonas urbanas siguen siendo atractivas para las personas y las proyecciones de las Naciones Unidas señalan que para el año 2050, aproximadamente el 70% de la población mundial residirá en entornos urbanos. Por lo tanto, la mayoría de la población llevará a cabo desplazamientos diarios que no superarán los 100 kilómetros dentro de la zona

metropolitana. Además, la distribución de mercancías se realizará principalmente en las áreas urbanas, lo que requerirá vehículos de reparto que sean más limpios y eficientes.

El 73% del consumo de petróleo en la Unión Europea tiene lugar en el sector de transporte por carretera. Por lo tanto, es esencial identificar y aplicar soluciones sostenibles para abordar los desafíos de la movilidad y el transporte del futuro. La electrificación del transporte por carretera tiene como elemento central al vehículo eléctrico, el cual no genera emisiones en el punto de uso. No obstante, su evolución ha impulsado la creación de nuevos tipos de vehículos, como los híbridos enchufables. Estos comparten características como niveles muy bajos de ruido y emisiones contaminantes, el uso de combustibles limpios y una eficiencia energética mejorada (Aparicio y col., 2010).

Hace unos años Carlos Ghosn, presidente del Grupo Renault – Nissan, expresaba en relación con el limitado crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos que el factor fundamental es la lenta implantación de las infraestructuras de recarga (Gómez, 2014).

Un vehículo eléctrico no es más que un tipo de vehículo que utiliza uno o más motores eléctricos para propulsión en lugar de un motor de combustión interna que utiliza gasolina o diésel.

A pesar de que no es ampliamente reconocido, es importante destacar que los primeros vehículos automotores eran, de hecho, eléctricos. A lo largo del siglo XIX, varios inventores trabajaron en la creación de prototipos de vehículos eléctricos a pequeña escala. Existieron de dos, tres y cuatro ruedas, y su evolución siempre estuvo acompañada por avances en el rendimiento de las baterías eléctricas. Estos avances se remontan al descubrimiento de la pila galvánica en 1800 por Alejandro Volta.

Durante los primeros años del siglo XX, los automóviles eléctricos experimentaron un éxito comercial considerable gracias a las ventajas que ofrecían, como una conducción limpia, silenciosa y de fácil manejo. Además, destacaba el hecho de que no requerían el arranque manual con manivela, algo necesario en los automóviles de gasolina de ese período (Santamarta, 2009).



Figura 2. Thomas Edison y un coche eléctrico en 1913

La llegada del siglo XXI ha estado marcada por un aumento sostenido en los precios del petróleo, y algunos expertos consideran que esto ha desencadenado su tercera crisis. Como resultado, se prevé un desplazamiento gradual del petróleo en el sector del transporte por carretera, un proceso que se desarrollará a lo largo de varias décadas y que implicará un largo período de coexistencia. Durante esta transición hacia la electrificación del transporte por carretera, se verá una diversificación significativa de los combustibles utilizados en automóviles, con un énfasis en aquellos que presenten mejores credenciales medioambientales. Esto incluirá vehículos eléctricos, híbridos y aquellos que empleen pilas de combustible de hidrógeno (Aparicio, 2010).

2.2.1. Ventajas e inconvenientes del vehículo eléctrico

Inconvenientes

La mayoría de los vehículos eléctricos tienen una autonomía más limitada en comparación con los de combustión interna. Aunque esta brecha está disminuyendo con avances tecnológicos, algunos conductores pueden sentirse limitados por la necesidad de recargar con mayor frecuencia.

La recarga de batería puede llevar más tiempo que llenar el tanque de combustible en un vehículo de gasolina. Aunque las estaciones de carga rápida están aumentando, la recarga completa aún puede llevar más tiempo que llenar el depósito de gasolina.

A pesar del crecimiento, la infraestructura de carga de vehículos eléctricos todavía no es tan amplia como las estaciones de servicio de gasolina. Esto puede generar preocupaciones sobre la disponibilidad de puntos de recarga en algunas áreas.

Estos tienden a ser más caros que sus contrapartes de combustión interna, principalmente debido al costo de las baterías. Aunque los precios están disminuyendo, el costo inicial puede ser una barrera para algunos compradores.

Las baterías de los vehículos eléctricos se degradan con el tiempo y con cada ciclo de carga. Si bien las baterías modernas tienen una vida útil razonable, eventualmente requerirán reemplazo, lo que puede ser costoso.

Impacto Ambiental de la Fabricación de Baterías: La producción de baterías de litio-ion puede tener un impacto ambiental significativo debido a la extracción de minerales y la energía requerida en la fabricación.

Los vehículos eléctricos dependen de una red eléctrica confiable. Interrupciones en el suministro eléctrico pueden afectar su carga y movilidad. (Catalá y col., 2019).

Ventajas

El vehículo eléctrico cumple con las demandas medioambientales actuales en diversos aspectos. Al no emitir sustancias contaminantes a la atmósfera, representa una mejora significativa en la calidad del aire. Además, contribuye a la reducción de la contaminación acústica, ya que su motor produce muy poco ruido. Esto tiene como resultado la disminución de los niveles de ruido en las áreas donde circulan estos vehículos.

El vehículo eléctrico ofrece otras ventajas relacionadas con la eficiencia de su motor eléctrico, el cual proporciona un alto torque prácticamente desde el momento de arranque. La ausencia de una caja de cambios también contribuye a una respuesta más ágil en la aceleración y a un comportamiento cinemático sobresaliente. Además, aprovechan la energía generada durante el frenado, en contraste con los vehículos convencionales donde esa energía se disipa en forma de calor debido a la fricción, lo que constituye una pérdida (Santamarta 2009).

Tienen costos de mantenimiento y de energía (recarga de energía eléctrica, excluyendo el costo de las baterías) significativamente más bajos en comparación con un vehículo de motor de combustión interna.

En el análisis de las ventajas medioambientales se debe tener en cuenta que, si bien se eliminan las emisiones de CO₂ y sustancias contaminantes en el vehículo en sí, estas emisiones no desaparecen en las centrales eléctricas que utilizan carbón o gas natural en su generación de electricidad. Aunque representa una mejora en la

eficiencia energética ya que se logra un rendimiento global superior en la conversión de la energía, desde la forma química de los combustibles fósiles hasta la energía cinética del vehículo en movimiento. Por otro lado, las emisiones generadas por la combustión se concentran en la planta de generación, lo que facilita su tratamiento específico. En este sentido, se están investigando y desarrollando tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ en yacimientos de gas natural agotados.

Es factible obtener una parte de la energía eléctrica utilizada para su recarga a partir de fuentes de energía renovable, como la energía termosolar, fotovoltaica, geotérmica o eólica.

Gracias a todas estas ventajas se prevé un importante crecimiento de la producción de automóviles eléctricos. Estudios realizados por la empresa Repsol sugieren que entre el 10% y el 12% de los automóviles vendidos en Europa en el año 2020 fueron vehículos eléctricos o híbridos (Fernández y col., 2021).

España se posiciona como el segundo mercado europeo con un notable interés en la adquisición de estos vehículos, ya que un 82% de los usuarios en España estaría dispuesto a comprar un automóvil eléctrico, superando el promedio europeo que se sitúa en el 69% (Santamarta, 2009).

Estaciones de Recarga de vehículos eléctricos

Tesla opera la red de carga más grande en todo el mundo, con más de 2,500 estaciones de carga rápida y cerca de 15,000 estaciones de velocidad normal. Esta red abarca Estados Unidos en su totalidad, la zona más densamente poblada de Canadá, partes de México, Centroamérica, toda Europa occidental, el este de China, Corea, Japón y abarca áreas más pequeñas en Australia, Nueva Zelanda y los Emiratos Árabes Unidos. Además, la infraestructura de recarga para vehículos eléctricos se ha desarrollado significativamente en Europa y continúa expandiéndose en todo el mundo (Frías P. y col., 2023).

España se destaca en la red de recarga rápida con 1,244 puntos y una flota de 33,211 vehículos eléctricos, siendo el país europeo con la mejor relación entre cargadores rápidos y vehículos eléctricos. Este crecimiento continúa gracias a las expansiones de las empresas de instalación y recarga. Iberdrola, una empresa española, ha presentado su Plan Smart Mobility para instalar 150,000 puntos de recarga en diversas ubicaciones hasta 2025, incluyendo estaciones ultra rápidas, súper rápidas y rápidas. Este plan asegura que haya una estación de recarga rápida cada 50 km, lo que facilita los viajes por todo el país con autonomía (Frías P. y col., 2023).

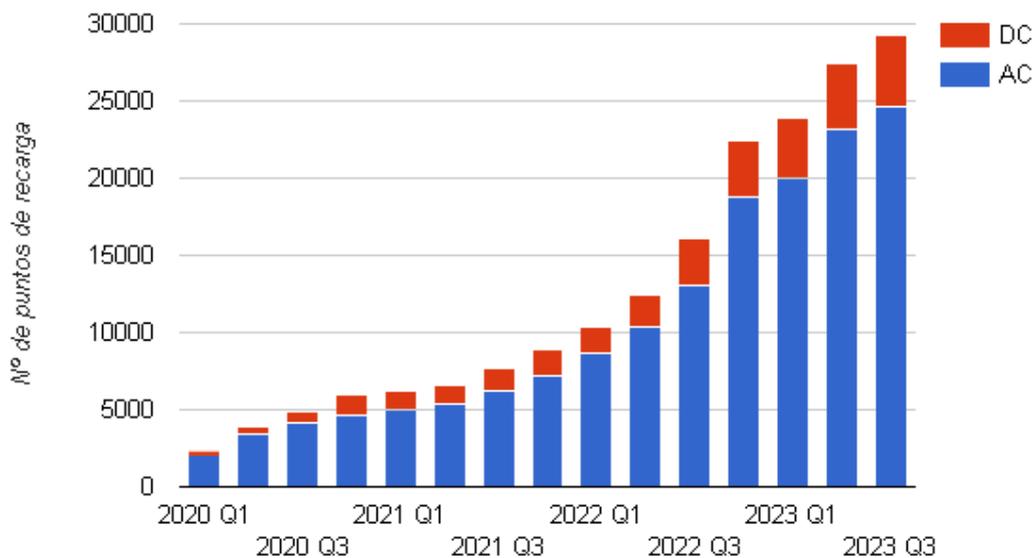


Figura 3. Puntos de recarga 2020-2023 UE

La Unión Europea establece una estrategia plasmada en el Papel Blanco sobre Transporte 2050, en la cual plantea una visión a largo plazo para el transporte en Europa. Se centra en la descarbonización del sector, promoviendo la movilidad sostenible y la transición hacia un sistema de transporte más limpio y eficiente. El plan busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, fomentar el uso de combustibles alternativos, impulsar la innovación en tecnologías de transporte y mejorar la infraestructura de transporte en toda la región. Una de las medidas que propone es que no habrá coches de combustión en el centro de las ciudades para 2050, con el objetivo intermedio de que en 2030 la mitad de los vehículos sean eléctricos (European Commission, 2011).

2.2.2. Marco regulatorio del vehículo eléctrico

La legislación conforme al vehículo eléctrico aborda una amplia gama de aspectos y se adapta a medida que el mercado se desarrolla. Estas medidas buscan no solo establecer las reglas y estándares necesarios para garantizar la seguridad y la eficiencia de los vehículos eléctricos, sino también fomentar su adopción y contribuir a objetivos más amplios de sostenibilidad y reducción de emisiones. A medida que el mercado de vehículos eléctricos continúa creciendo, es esencial que la legislación evolucione para abordar nuevos desafíos y oportunidades que surgen en este campo en constante cambio.

En el Anexo 1, se muestran las leyes y reales decretos que se relacionan con la implantación de dicha tecnología.

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo, se abordarán de manera detallada los componentes esenciales y los conocimientos técnicos requeridos para el desarrollo de una estación de recarga de vehículos eléctricos, complementada con un sistema fotovoltaico. Se explorarán los elementos clave de la infraestructura de recarga, tales como los módulos de potencia, los sistemas de gestión de energía, y las normativas que aseguran su funcionamiento seguro y eficiente. Además, se examinará la integración de la energía solar fotovoltaica como fuente de alimentación, destacando los beneficios de la generación de energía renovable in situ para la sostenibilidad y eficiencia energética de la estación.

3.1. Componentes de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos

La infraestructura de recarga de vehículos eléctricos facilita la conexión entre la red de distribución eléctrica y el vehículo eléctrico. Esta infraestructura incluye el contador, la estación de recarga, el cable de alimentación y todos los componentes esenciales para garantizar la transferencia segura de energía eléctrica desde la red de suministro hasta el vehículo eléctrico.

Instalación de una infraestructura de recarga de vehículos eléctricos (IRVE)

A continuación, en la Figura 4 se detallan los componentes de una instalación eléctrica destinada a la recarga de vehículos eléctricos, así como el esquema de instalación, conforme a lo establecido en la normativa ITC-BT-52. (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015)

En un mismo estacionamiento pueden convivir diferentes tipos de instalaciones según las necesidades específicas de cada usuario. No obstante, es aconsejable contar con canalizaciones compartidas para este tipo de infraestructura, lo que facilita la instalación de diversas opciones disponibles.

En este caso la instalación cuenta con un contador principal común para las estaciones de recarga del VE en el origen. Esta alternativa simplifica la instalación de una infraestructura compartida que permite realizar conexiones individuales para cada estación de carga, lo que resulta en una optimización de los costos a medida que se incrementa el número de estaciones de recarga.

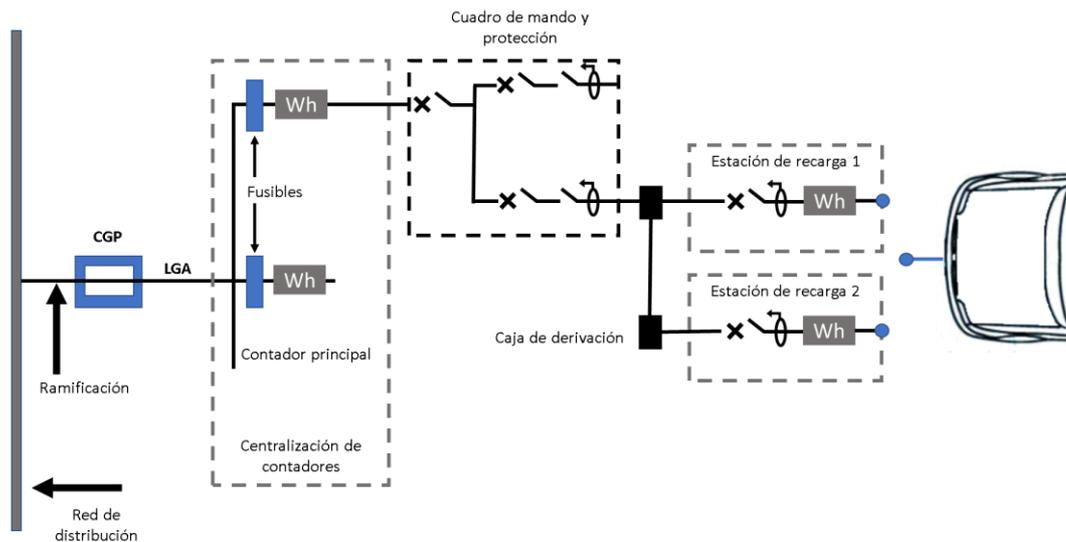


Figura 4. Esquema de IRVE.

El significado de las abreviaturas de los distintos elementos presentes en la imagen se muestra a continuación:

- **CGP:** Caja General de Protección
- **LGA:** Línea General de Alimentación
- **DGMP:** Dispositivo General de Mando y Protección
- **IGA:** Interruptor General Automático

Este tipo de instalación tiene como ventaja que solo se requiere un área designada para los contadores en la centralización de estos. Esto no afecta el uso de los servicios comunitarios. Además, facilita la implementación de tarifas específicas apropiadas para los vehículos eléctricos.

Como desventaja se tiene que se debe administrar el consumo y los costos asociados para los distintos usuarios de vehículos eléctricos. También se debe considerar un costo adicional en la instalación inicial para prever los futuros puntos de recarga.

Selección del tipo de punto de recarga

Una propuesta interesante como modelo de punto de recarga a instalar sería el INGEREV CITY DUO debido a que este equipo ha sido desarrollado siguiendo los lineamientos de la norma internacional IEC 61851 (International Electrotechnical Commission, 2017). Permite la carga simultánea de dos vehículos en los modos 1, 2 y 3.

La capacidad de cargar dos vehículos al mismo tiempo con un solo dispositivo contribuye a reducir tanto los costos de instalación como el impacto visual de estas infraestructuras en espacios públicos.

Los puntos de recarga de la serie CITY Duo están disponibles en versiones monofásica y trifásica, con potencias que alcanzan hasta 7,4 kW o 22 kW por cada toma en Modo 3. También están equipados con un sistema de retención y bloqueo de cables, diseñado para evitar el uso no autorizado.

En caso de un corte de energía, los puntos de recarga cuentan con una batería que les ofrece una autonomía mínima de una hora, asegurando durante ese tiempo la retención del cable y el mantenimiento de las comunicaciones. (Ingeteam, s.f.)



Figura 5. Cargador de vehículos eléctricos INGEREV CITY Duo

Contador:

Es el aparato que registra el consumo de energía que utiliza la compañía suministradora para poder facturar el consumo de la instalación. Generalmente está instalado en la centralización de contadores o en una caja de protección y medida. Este contador está sujeto a la reglamentación de metrología legal aplicable y el reglamento unificado de puntos de medida.

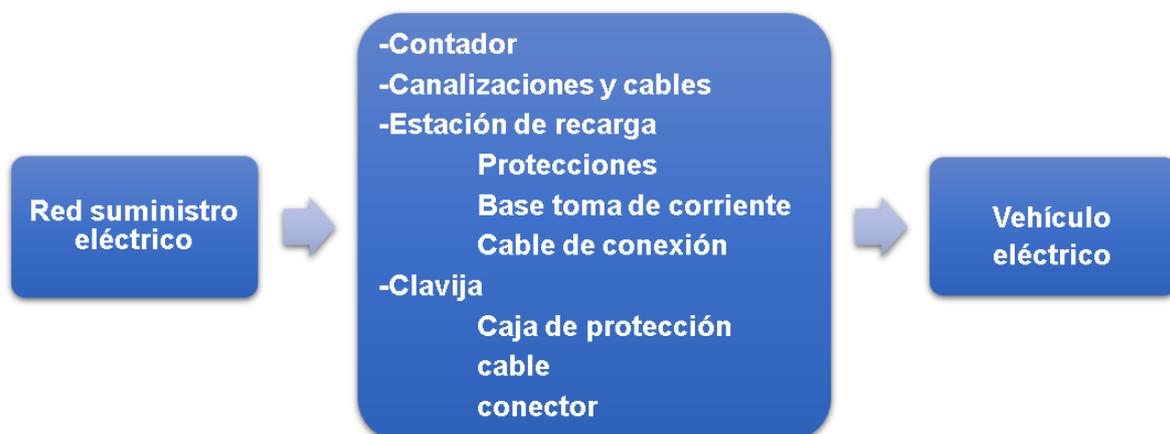


Figura 6. Diagrama de componentes de una estación de recarga de un VE

En cuanto a la conexión eléctrica, hay una variedad de tomas de corriente o conectores diseñados para vincular el vehículo con la red eléctrica. Es esencial considerar la compatibilidad del vehículo eléctrico con estos tipos de conectores. La base de toma de corriente establecerá los límites de potencia disponibles, las características adicionales y el método de carga a emplear.

Protecciones de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos

La Figura 7 exhibe las protecciones requeridas para garantizar la seguridad en las Instalaciones de Recarga de Vehículos Eléctricos, conforme a las regulaciones específicas establecidas para tales infraestructuras, las cuales se detallan en el sexto apartado de la Instrucción Técnica Complementaria BT-52 (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015).

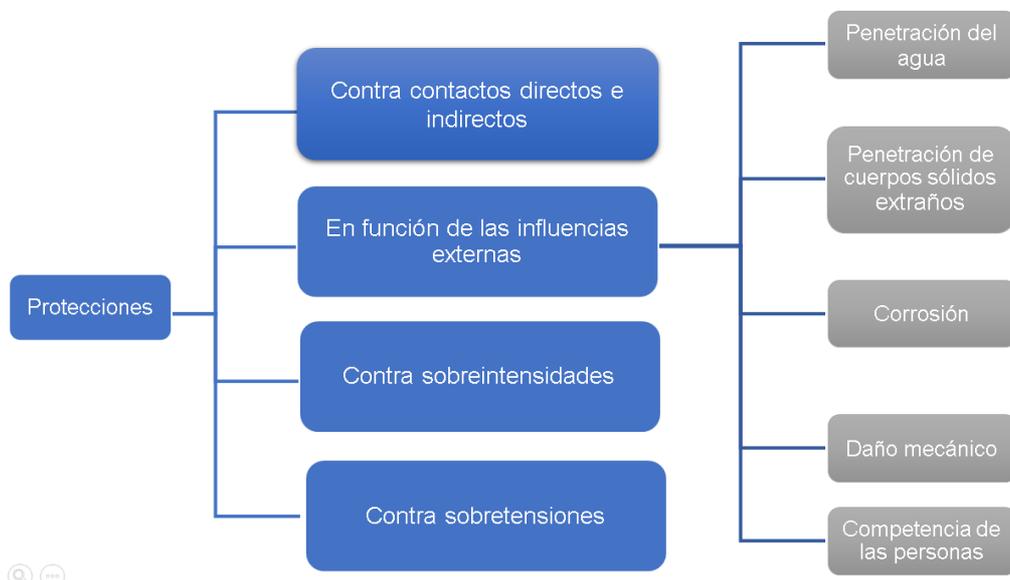


Figura 7. Diagrama de Protecciones de la (IRVE)

La conexión entre el vehículo eléctrico (VE) y la estación de recarga se compone principalmente de un cable de alimentación, cuya especificación varía según el tipo de vehículo eléctrico, estación de recarga o método de recarga utilizado. Además del cable, pueden estar presentes un conector, un enchufe y una caja de control.

Conector:

Este componente es la parte final del cable de alimentación que se debe acoplar a la entrada de conexión del (VE). Por lo general, el conector viene incluido con el automóvil y es seleccionado por el fabricante del VE.

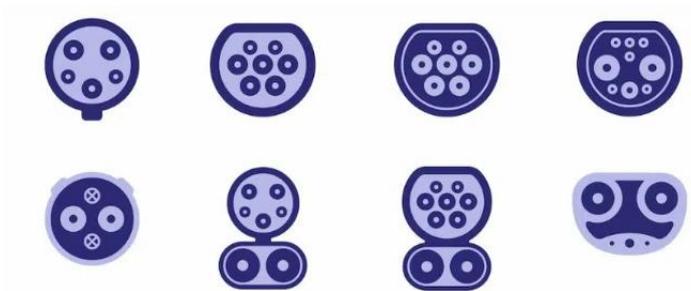


Figura 8. Tipos de conectores de vehículos eléctricos

Clavija

Se trata del extremo del cable de alimentación que se debe conectar a la base de toma de corriente de la estación de recarga. Existen varios tipos de clavijas diseñadas para conectar el vehículo a la red eléctrica según el modo de recarga y la potencia deseada para cargar el VE.

Caja de control

Es un aparato ubicado en el cable de alimentación entre el vehículo eléctrico y la clavija. Cumple funciones de control y protección, incorporando un piloto de control y un sistema de protección contra sobrecargas y fugas eléctricas.

3.2. Tipos y modos de recarga de una Infraestructura de recarga de vehículos eléctricos

El tiempo requerido para recargar una batería varía dependiendo del nivel actual de carga de la batería y de la potencia eléctrica que el punto de recarga pueda suministrar.

Se pueden clasificar tres tipos de recarga según las potencias suministradas: baja, normal y alta. A partir de estas potencias, es posible estimar el tiempo necesario para recargar. En la Tabla 2 se presentan las características principales de estos tipos de recarga. La duración aproximada señalada en la tabla se calcula para lograr una recarga completa de un vehículo eléctrico con una batería de 20 kWh de capacidad.

Tabla 2. Características de los diferentes tipos de recarga.

	Duración aproximada requerida	Potencia	Características
Carga a baja potencia <3,7 kW	9 horas 5,5 horas	2,3 kW (10 A-230 V) 3,7 kW (16 A-230 V)	Se prevé que sea la recarga vinculada a viviendas unifamiliares y de edificios, que se realicen en horas nocturnas.

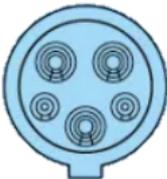
Carga a potencia normal > 3,7 kW <22 kW	2 horas	11 kW (10 A-400 V)	Es la más indicada para recarga de apoyo o grupal. Se prevé la ubicación en lugares de acceso público como parkings municipales, centros comerciales, cines, hoteles, etc.
	1 hora	22 kW (32 A-400 V)	
Carga a potencia alta > 22 kW	25 minutos	43,6 kW (63 A-400 V)	Pensada como complemento en caso de emergencia para obtener una recarga ultrarrápida, adecuado para vías rápidas.

Modo de recarga utilizando una toma de corriente diseñada específicamente para cargar (VE).

Esta modalidad siempre requiere una estación de recarga o SAVE (Sistema de Alimentación Específico para Vehículos Eléctricos), donde se encuentran las funciones de control y protección permitiendo una comunicación avanzada entre la estación de recarga y el vehículo eléctrico.

Se emplean tomas de corriente y/o conectores diseñados específicamente para vehículos eléctricos, de acuerdo con la normativa UNE-EN 62196-2. La Tabla 3 exhibe los estándares normalizados de las bases de las tomas de corriente, incluyendo los tipos 1, 2 y 3, que admiten conexiones monofásicas y/o trifásicas (Asociación Española de Normalización, 2017).

Tabla 3. Características de las diferentes tomas de corriente.

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Base de toma de corriente			
Tensión máxima	250 V monofásico	250 V monofásico 500 V trifásico	250 V monofásico 500 V trifásico
Corriente máxima	32 A Hasta 7,3 kW	70 A monofásico 63 A trifásico Hasta 43 kW	32 A monofásico 32 A trifásico Hasta 22 kW

Ventajas de este modo de recarga

Es capaz de soportar corrientes de carga que posibilita tiempos de recarga más cortos que otros modos.

Facilita la gestión de la demanda mediante la regulación de la corriente de carga, lo que evita la desconexión completa de la carga del vehículo eléctrico (VE), permitiendo ajustar la potencia de carga a la capacidad de la instalación y prevenir sobrecargas.

En el caso de instalaciones recién construidas, los peligros asociados al uso de infraestructuras más antiguas, como incendios o descargas eléctricas, estarán debidamente mitigados

Previene la necesidad de utilizar adaptadores, cables de extensión y bases múltiples, que pueden representar riesgos de incendio.

La electrónica de control se encuentra integrada en la estación de recarga en lugar de estar en el cable de conexión, lo que garantiza una mayor robustez, especialmente en instalaciones ubicadas en espacios de alta concurrencia pública como estacionamientos.

Antes de iniciar la carga del vehículo eléctrico, se verifica siempre la continuidad a tierra entre la instalación y el vehículo, y se bloquea para evitar su extracción de la base, eliminando así el riesgo de contacto con partes activas bajo tensión. El sistema se desbloquea una vez que la carga ha finalizado.

Inconvenientes

El costo inicial supera el de la instalación de sus alternativas y los vehículos eléctricos más antiguos y los de menor potencia no tienen acceso a esta forma de cargar.

3.3. Conceptos generales asociados a la energía solar fotovoltaica

Radiación Solar

El sol emite una cantidad constante de energía que, al llegar a la superficie terrestre, pierde parte de su intensidad debido a diversos fenómenos ambientales.

La potencia radiante de 1367 W/m^2 , conocida como constante solar, no es la que finalmente llega a la superficie terrestre debido a la influencia de los fenómenos atmosféricos, la actividad humana, la forma de la Tierra, el ciclo día/noche y su órbita elíptica. La radiación solar se atenúa en la atmósfera debido a la reflexión, absorción y dispersión causadas por los componentes atmosféricos, como las moléculas de aire, el ozono, el vapor de agua, el CO₂ y los aerosoles (Aparicio, 2020).

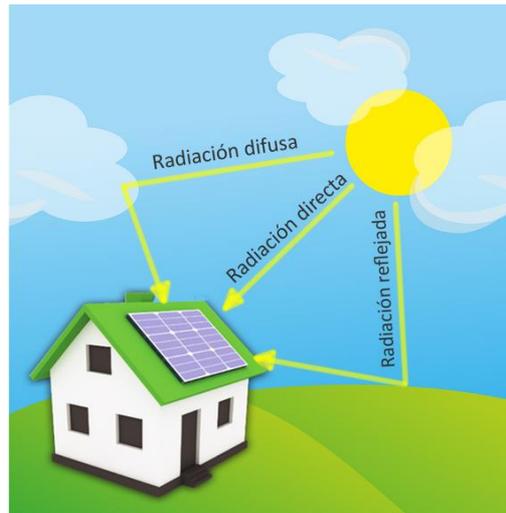


Figura 9. Tipos de radiación solar

La radiación solar que llega a la tierra se puede dividir en tres componentes: radiación solar directa, radiación solar difusa o radiación solar de albedo o reflejada.

Radiación Directa

Influenciada por el fenómeno de absorción, la radiación que recibimos directamente del sol varía según la cantidad de nubes presentes y la estación del año en la que se mida.

Radiación Difusa

Influenciada por el fenómeno de difusión, la radiación solar que recibimos proviene del reflejo de la luz solar en las nubes y las partículas en el aire. En los días nublados, esta es la forma predominante de radiación solar que alcanza la superficie terrestre.

Radiación de albedo

Principalmente, se trata de la radiación reflejada por superficies blancas o similares, lo cual es especialmente aprovechado por los módulos bifaciales.

Además de la radiación directa, difusa y de albedo, es importante considerar que cuando los rayos solares no inciden perpendicularmente sobre las células fotovoltaicas, se producen pérdidas por reflexión y absorción en las capas anteriores a la célula, como el vidrio, el encapsulante y la capa antirreflexiva. También es crucial tener en cuenta las pérdidas debidas a la suciedad y los efectos espectrales, ya que las células solares responden de manera selectiva a los fotones de la luz incidente, generando una corriente específica para cada longitud de onda de la radiación solar que reciben.

La posición del sol varía a lo largo del día y con las estaciones, lo que también altera el ángulo en el que los rayos solares inciden sobre superficies como los paneles

solares. Por lo que la energía recibida depende de la orientación y la inclinación de los módulos fotovoltaicos. Una superficie horizontal capta la mayor cantidad de energía en verano, cuando el sol está alto y los días son más largos. Por otro lado, una superficie vertical orientada al sur recibe más energía en invierno que en verano, aproximadamente 1,5 veces más que una superficie horizontal.

Teniendo en cuenta lo anterior es recomendable ajustar la inclinación de los paneles para que sea similar a la latitud del lugar (por ejemplo, 30-35°) y orientarlos lo más posible hacia el sur.

Geometría solar

Es esencial tener información sobre la cantidad de luz solar que incide en el área de una instalación fotovoltaica y cómo varía la posición del sol durante las distintas estaciones del año para calcular adecuadamente la producción de energía de dicha instalación (Braun & Mitchell, 1983).

La situación del sol en un lugar cualquiera viene determinada por la altura y el azimut del sol.

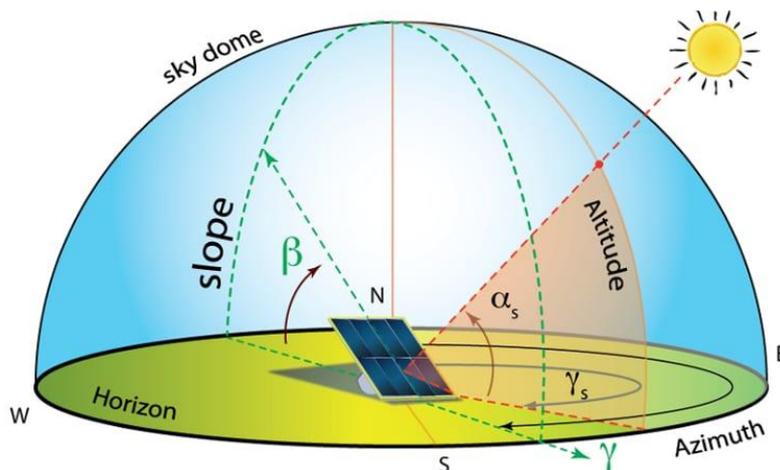


Figura 10. Geometría solar

Azimut Paneles Solares:

El azimut solar es el ángulo entre la dirección sur y la proyección horizontal del sol hacia el norte, ya sea por el noreste o el noroeste. La orientación sur se toma como $\psi = 0^\circ$, con los ángulos hacia el noreste siendo negativos y los ángulos hacia el noroeste siendo positivos.

Ángulo de inclinación recomendado

Como regla general, el ángulo de inclinación óptimo se establece según la latitud del lugar. Por ejemplo, en España, la inclinación adecuada varía entre 20 y 40°, dependiendo de si el sistema fotovoltaico se instala en el sur o en el norte del país, respectivamente. Esto implica que un ángulo de inclinación de 30° es un criterio bastante común y estándar para España.

Además, es importante considerar el impacto visual, especialmente en las viviendas. En muchos casos, aunque el tejado no tenga la inclinación ideal, no es recomendable instalar un soporte para elevar los paneles debido al efecto visual negativo. Una diferencia de 10-15° en la inclinación generalmente no afecta significativamente la producción anual de energía.

Efecto de las sombras en un panel solar fotovoltaico

Se debe evitar en la medida de lo posible el sombreado de los paneles solares, ya que afecta su correcto funcionamiento. Sin embargo, esto a veces es inevitable, especialmente en tejados de sistemas fotovoltaicos en casas y edificios, donde el espacio y la orientación están limitados.

En situaciones donde el sombreado es inevitable, el impacto en la generación de energía eléctrica de los paneles solares puede variar significativamente. Esto depende de la forma de la sombra, del número de células o paneles afectados y de cómo están distribuidos en la interconexión del módulo.

Cuando una célula o un grupo de células se sombrea, dejan de producir electricidad y comienzan a consumirla, lo que puede causar sobrecalentamiento e incluso la destrucción de la célula, fenómeno conocido como Punto Caliente o Hot Spot. Para evitar esto, se utilizan diodos "Bypass" que desvían la corriente eléctrica.

Funcionamiento del diodo de bypass de un panel solar

Técnicamente, cuando la suma de los voltajes positivos de las demás células en serie con la célula sombreada excede el voltaje negativo de esta última por un valor igual al voltaje de activación del diodo Bypass, el diodo Bypass comienza a conducir. Esto proporciona una ruta alternativa para la corriente, evitando así que la célula sombreada se dañe.

3.4. PVsyst

En este trabajo investigativo se empleó como herramienta el PVsyst 7.4, este es un software de diseño de sistemas fotovoltaicos para ingenieros, arquitectos, investigadores y financiadores. Gracias a sus numerosas herramientas pedagógicas, puede ser muy útil para la enseñanza. Se ocupa de sistemas conectados a la red en tejados, sistemas integrados o plantas a gran escala, sistemas autónomos con baterías y sistemas de bombeo solar. El manual del usuario proporciona instrucciones detalladas sobre el uso del software (PVsyst SA, 2022).

El principal objetivo de la simulación de un sistema fotovoltaico es calcular su comportamiento a lo largo del año, la producción eléctrica y la evaluación de las

pérdidas. Finalmente, la evaluación de la producción permitirá determinar la rentabilidad del sistema.

El proyecto se ubica en un sitio bien definido. La radiación solar es el recurso principal para la generación de electricidad fotovoltaica, por lo que los datos meteorológicos son el punto de partida para la evaluación de la producción y la base para cualquier simulación. La orientación general del sistema debe estar bien definida, y es posible utilizar sistemas de seguimiento solar. El usuario diseña la organización eléctrica de su sistema, que incluye paneles fotovoltaicos, inversores, baterías, bombas y otros componentes.

Puede haber pérdida de eficiencia debido al sombreado distante, representado por una línea de horizonte, y el sombreado de objetos cercanos o entre filas de paneles es muy importante. Su evaluación precisa durante el año requiere una representación en 3D del sistema y su entorno. El editor 3D, la parte más compleja del software, permite crear la escena de sombreado desde cero o importar escenas de otros programas de dibujo especializados.

El sombreado afecta la producción de electricidad y este cálculo requiere definir la ubicación de cada módulo fotovoltaico en la escena de sombreado, llamada layout, y su asignación a un inversor. Las pérdidas eléctricas resultan de un cálculo complejo de la curva IV de cada módulo fotovoltaico. La simulación del sistema requiere el uso de bases de datos que deben incluir la ubicación geográfica y datos climáticos para cualquier lugar del mundo. Varios recursos permiten obtener estos datos, ya sea internamente desde el software Meteonorm, de diversas fuentes disponibles en la web o proporcionadas por proveedores de servicios. El usuario también puede importar sus propios datos medidos in situ. Finalmente, PVSYS puede realizar una evaluación económica detallada del proyecto a lo largo de su vida útil a través de varias herramientas avanzadas disponibles.

3.5. Componentes de una instalación solar fotovoltaica

Una instalación de autoconsumo fotovoltaico va más allá de simplemente colocar paneles solares. Es fundamental realizar una cuidadosa selección de los componentes en términos de calidad, rendimiento, garantía y costo para asegurar una instalación exitosa. En esta sección, detallaremos la función de cada uno de estos elementos en la instalación fotovoltaica.

Una instalación fotovoltaica comprende componentes electrónicos de alta sofisticación técnica, como paneles solares, inversores solares y sistemas de monitorización. También incluye componentes más simples, como soportes, optimizadores, contadores bidireccionales y otros elementos menores como el cableado y sistemas de protección y fijación (Cantos Serrano, 2022).

La potencia de un panel solar no es el único aspecto relevante a considerar; también es crucial evaluar su eficiencia y la garantía de su rendimiento a largo plazo. En consecuencia, un panel con una menor potencia podría ofrecer un mejor desempeño que otro con una mayor si su eficiencia y garantía son superiores. Esto se debe a que puede generar más energía utilizando menos espacio y su producción puede ser menos afectada por el paso del tiempo.

Igualmente, hay otros factores externos que pueden influir en la generación de energía del panel, como la radiación solar (que varía según la ubicación geográfica), la orientación y la inclinación de la superficie donde se encuentre instalado, así como posibles sombras causadas por estructuras como chimeneas o torres, por ejemplo.

Inversores y microinversores solares

Su función principal es convertir la corriente continua producida por los paneles solares en corriente alterna, que es la forma de energía eléctrica utilizada por los dispositivos y equipos eléctricos en hogares o establecimientos comerciales.

Los inversores también retienen datos relacionados con la generación de energía solar, el consumo de la red eléctrica y el estado general del sistema de energía solar, facilitando así el monitoreo de toda esta información. Por esta razón, son componentes de vital importancia en el sistema.

Optimizadores de potencia

Los optimizadores de potencia son dispositivos colocados entre los paneles solares y el inversor, diseñados para mejorar el rendimiento del sistema asegurando que cada panel funcione en su punto óptimo de potencia.

Cuando un panel en una serie de paneles solares tiene un rendimiento inferior debido a defectos de fábrica, sombreado u otros factores, el rendimiento de toda la serie se ve afectado, ya que los demás paneles operan al nivel de potencia más bajo. Para evitar esta pérdida de rendimiento, se pueden instalar optimizadores, conectando uno a cada panel o par de paneles en instalaciones más grandes, lo que permite que cada uno funcione de manera independiente.

Una alternativa más costosa pero flexible son los microinversores, que también evitan este problema y permiten una expansión ilimitada del sistema solar. Tanto los optimizadores como los microinversores mejoran la monitorización de los paneles, lo que facilita la detección de fallos. Por lo general, estos dispositivos se instalan en la parte posterior de los paneles solares. Es importante destacar que su uso es opcional, a menos que el inversor requiera su utilización.

Estructura soporte

Este dispositivo es responsable de asegurar los paneles solares en el terreno o en el tejado, y existen dos tipos principales:

- **Montaje Coplanar:** Estos se emplean cuando se prefiere instalar el panel de forma adyacente a la cubierta, lo que proporciona una apariencia estética más atractiva. También, permiten una mejor utilización del espacio disponible en la cubierta.
- **Estructuras Triangulares:** Estas estructuras ajustan la inclinación y orientación de los paneles para optimizar la producción de energía eléctrica. Son indispensables en cubiertas planas y pueden fijarse mediante tornillos o contrapesos. Aunque su precio es ligeramente más alto que el de los montajes coplanares, ocupan más espacio ya que requieren dejar espacio entre filas de paneles para evitar la sombra entre ellos.

Contador

Cuando la instalación solar está conectada a la red eléctrica, lo cual es comúnmente el caso, se requiere un medidor bidireccional. Este medidor registra tanto la energía que ingresa como la que sale, ya que además de consumir energía, es posible verter el excedente de la producción fotovoltaica a la red eléctrica general.

Equipos de protección

Se requieren para salvaguardar tanto los equipos como a los usuarios ante diversas incidencias. Entre los dispositivos más comunes se encuentran los fusibles, diseñados para contrarrestar cortocircuitos, los magnetotérmicos, que protegen contra sobrecargas y cortocircuitos, los interruptores diferenciales, que previenen derivaciones, y los varistores, encargados de mitigar sobretensiones.

Estos elementos suelen ser integrados en un panel eléctrico ubicado cerca del inversor. La función de puesta a tierra también puede ser parte de esta sección, ofreciendo protección contra contactos accidentales entre conductores y carcasas.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

Este capítulo se centra en el proceso de diseño de la instalación solar fotovoltaica, abarcando desde la selección y análisis del emplazamiento hasta la evaluación detallada del rendimiento del sistema. Comenzando con la simulación en PVsyst, se definirá la orientación óptima y se establecerán las características del sistema de red y del arreglo fotovoltaico. Se abordarán aspectos críticos como las pérdidas del sistema, los parámetros de sombreado cercano y el diseño físico del estacionamiento, con el fin de optimizar la integración de la instalación en el entorno. Finalmente, se presentarán los resultados de la simulación, incluyendo el diagrama de pérdidas y un análisis exhaustivo del balance de emisiones de CO₂, destacando el impacto ambiental de la instalación.

4.1. Emplazamiento

Como localización del proyecto se escogió el parking de la Universidad Internacional de Andalucía con sede en Santa María de la Rábida, Huelva, España. Esta ubicación y los datos climáticos correspondientes proporcionados por el software Meteonorm 8.1 se utilizaron para realización de la simulación. A continuación, se muestran imágenes y un plano que detallan la región del proyecto.

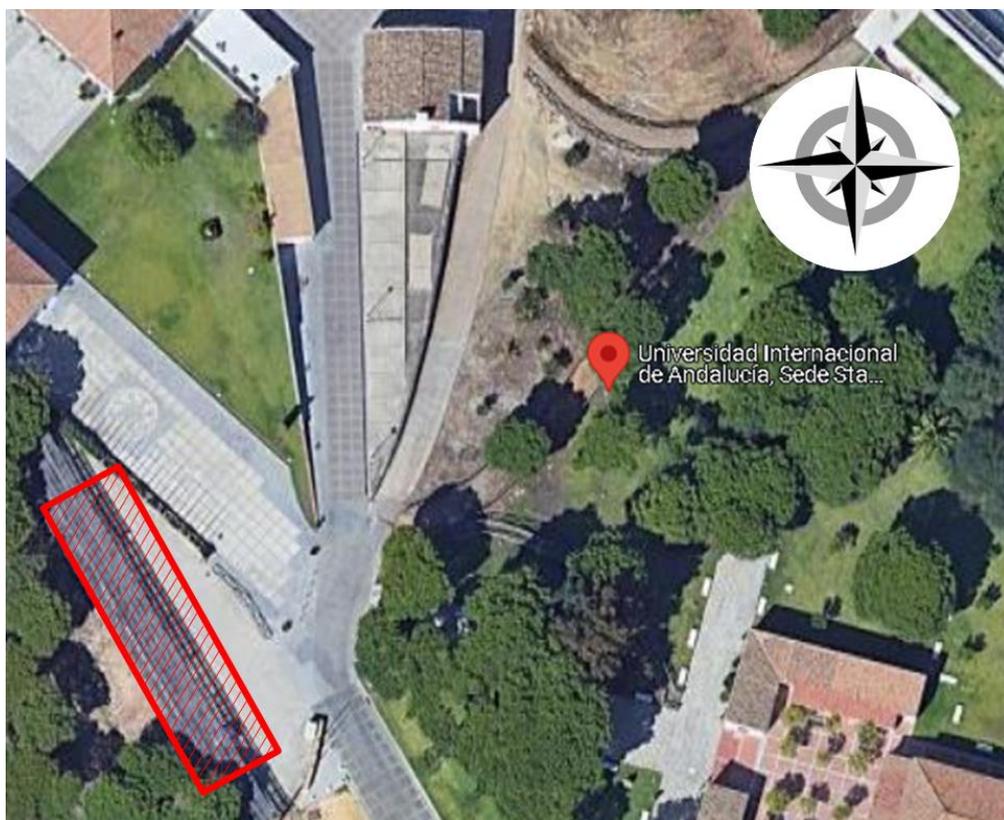


Figura 11. Localización del proyecto, Universidad Internacional de Andalucía

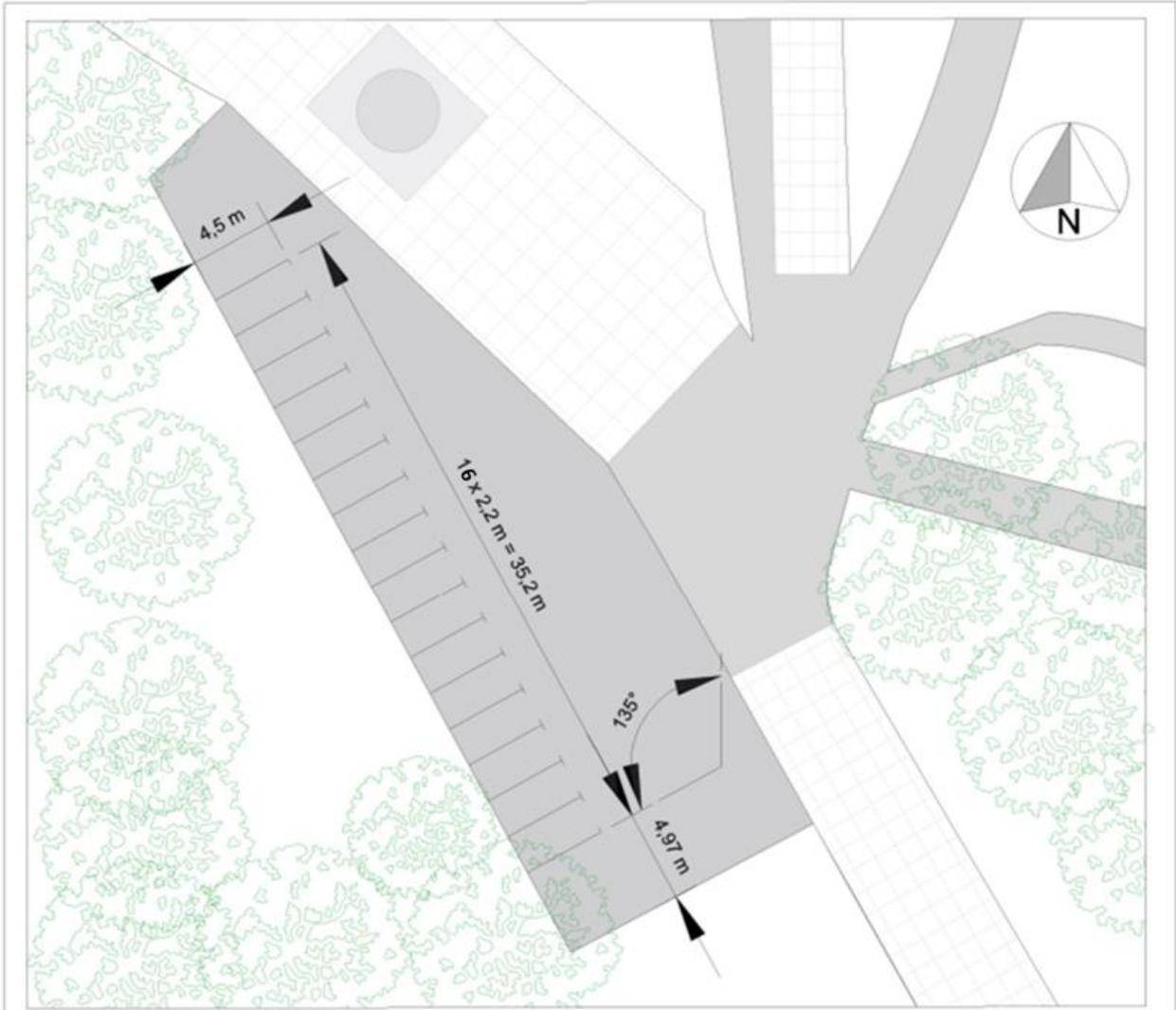


Figura 12. Localización del proyecto. Estacionamiento

Dimensiones de una plaza de garaje

La normativa que establece qué dimensiones debe tener una plaza de aparcamiento, varía dependiendo de en qué municipio se ubique la plaza, pues cada localidad tiene un Plan General de Ordenación Urbana o unas normas de urbanismo que regulan las medidas mínimas que deben tener las plazas de aparcamiento, que, aunque se parecen, cambian un poco:

Según la Ordenanza Urbana de Huelva (2010) una plaza de aparcamiento mediana tiene que tener unas medidas mínimas de 2,25 m de anchura por 4,50 m de longitud.



**Universidad Internacional
De Andalucía, Sede Sta. María de la
Rábida-UNIA**

Municipio: La Rábida
Provincia: Huelva, Andalucía

Ubicación: 37°12' N 6°55' W

Escala: 1:300

Plano 1. DISEÑO Y ANÁLISIS DE SISTEMA DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS BASADO EN ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Como se puede apreciar en el Plano 1, el proyecto constituye un estacionamiento con 16 plazas, cada una de 2,2 m de ancho por 4,5 m de largo con una inclinación de 45° con respecto al Sur. El emplazamiento se encuentra a 19 m sobre el nivel del mar, con presencia de vegetación alrededor, lo cual pudiera influir en la incidencia de energía solar sobre la instalación.

4.2. Simulación en Pvsyst

Se determinó, para la concepción de la modelación, como tipo de configuración del sistema la de conectada a la red, con una potencia de generación de 6 kWp.

El sistema fotovoltaico se planea instalar sobre la fachada del estacionamiento con el objetivo de aprovechar el espacio y la energía solar incidente para alimentar la estación de recarga de vehículos eléctricos, y en caso de no haber consumo por parte de la estación, abastecer de energía a las instalaciones de la universidad disminuyendo el consumo eléctrico de la institución proveniente de la red.

4.2.1. Orientación

Utilizando la disposición del emplazamiento el azimuth de los paneles solares instalados será de 45° con respecto al Sur, puesto que este es el ángulo en que está dispuesto el estacionamiento previo a su remodelación, y se desea generar el menor impacto constructivo posible para disminuir costes y no alterar el diseño de las instalaciones. Lo ideal sería una orientación hacia el Sur, pero las pérdidas no son significativas como se podrá comprobar más adelante.

Para determinar la inclinación óptima de la instalación se utilizó una herramienta de brindada por el software Pvsyst, en el cual se evaluaron distintos ángulos de inclinación para un azimuth de 45° en la localización de nuestro proyecto, buscando la mayor cantidad posible de energía inyectada a la red, obteniéndose el siguiente gráfico:

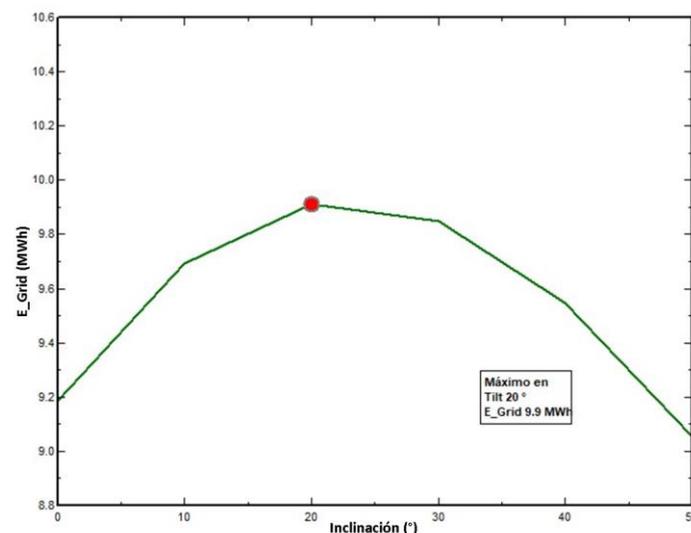


Figura 13. Optimización del ángulo de inclinación

Como se puede apreciar el mayor resultado se obtiene para una inclinación de 20° con respecto a la horizontal.

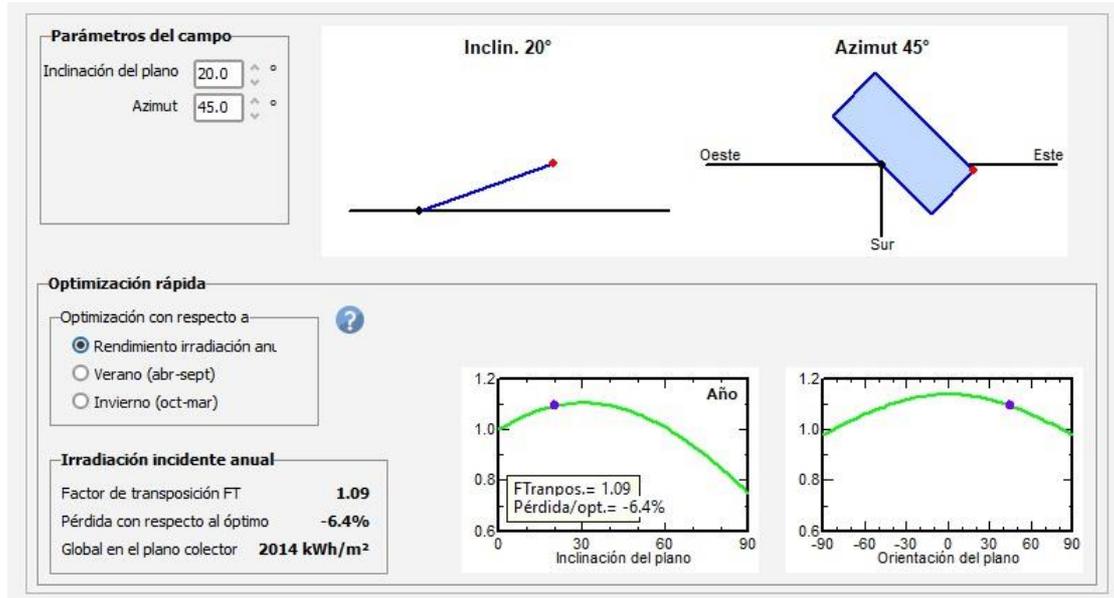


Figura 14. Optimización del ángulo de inclinación

Como resultado del análisis de orientación del sistema se muestra la imagen anterior en la cual al realizar una optimización de la irradiación anual se obtiene una pérdida con respecto al óptimo de 6,4 %. Este es un resultado preliminar sin consideraciones más complejas como el efecto sombreado.

4.2.2. Definición del Sistema de Red

Definición del Módulo fotovoltaico

Como módulo se escogió uno genérico de 300 Watts de potencia con 60 celdas de tecnología de silicio monocristalino. Esta selección se realizó basado en lo siguiente:

Los paneles de menor potencia, como los de 300 W, suelen ser más compactos, lo que puede permitir una distribución más flexible y optimizada en el espacio disponible, especialmente si las estructuras o los techos tienen dimensiones limitadas o características específicas que dificultan el uso de paneles más grandes. Estos pueden ofrecer una mayor modularidad para alcanzar la capacidad deseada, lo cual permite ajustar mejor la configuración del sistema a las necesidades energéticas y de distribución.

Los paneles de menor tamaño pueden ser menos susceptibles a pérdidas por sombreado parcial en comparación con paneles más grandes.

Aunque los paneles de 500 W son cada vez más comunes, los de 300 W pueden seguir siendo más asequibles o fácilmente disponibles en ciertos mercados, lo cual

influye en la viabilidad económica del proyecto, especialmente cuando se busca maximizar el rendimiento financiero.

En las siguientes imágenes se muestran sus características y especificaciones. Se pueden apreciar parámetros importantes como es el caso del punto de potencia máxima de 300.1 W, la eficiencia de la célula o el coeficiente de temperatura de $-0.39\%/^{\circ}\text{C}$ el cual es significativo para climas cálidos.

Potencia nom. (en STC) Wp Tol. -/+ %
Tecnología

Especificaciones del fabricante o otras medidas

Condiciones de referencia	GRef	<input type="text" value="1000"/>	W/m ²	TRef	<input type="text" value="25"/>	°C
Corriente de cortocircuito	Isc	<input type="text" value="9.900"/>	A	Circuito abierto Voc	<input type="text" value="37.90"/>	V
Punto de Potencia máx.	Impp	<input type="text" value="9.520"/>	A	Vmpp	<input type="text" value="31.50"/>	V
Coeficiente de temperatura	muIsc	<input type="text" value="5.0"/>	mA/°C	Núm células en serie	<input type="text" value="60"/>	en series
	o muIsc	<input type="text" value="0.050"/>	%/°C			

Herramienta de resultado del modelo interno

Condiciones de operación	GOper	<input type="text" value="1000"/>	W/m ²	TOper	<input type="text" value="25"/>	°C
Punto de Potencia máx.	Pmpp	<input type="text" value="300.1"/>	W	Coef. temper.	<input type="text" value="-0.39"/>	%/°C
	Corriente Impp	<input type="text" value="9.45"/>	A	Voltaje Vmpp	<input type="text" value="31.8"/>	V
Corriente de cortocircuito	Isc	<input type="text" value="9.90"/>	A	Circuito abierto Voc	<input type="text" value="37.9"/>	V
Eficiencia	/ Área células	<input type="text" value="20.37"/>	%	/ Área módulo	<input type="text" value="18.45"/>	%

Resumen del modelo

Parámetros principales

Derivación R	<input type="text" value="1700"/>	Ω
Rderiv(G=0)	<input type="text" value="7000"/>	Ω
Modelo serie R	<input type="text" value="0.19"/>	Ω
Serie R máx.	<input type="text" value="0.19"/>	Ω
Serie R aparente	<input type="text" value="0.33"/>	Ω

Parámetros del modelo

Gamma	<input type="text" value="0.910"/>	
IoRef	<input type="text" value="0.02"/>	nA
muVoc	<input type="text" value="-128"/>	mV/°C
muPMax fijo	<input type="text" value="-0.40"/>	/°C

Figura 15. Definición del módulo fotovoltaico. Datos básicos

En la imagen a continuación se muestran las dimensiones y parámetros de trabajo, como es el caso de el voltaje máximo de 1500 V.

Descripción **Generic, Mono 300 Wp 60 cells**

Módulo

Longitud	<input type="text" value="1640"/>	mm
Anchura	<input type="text" value="992"/>	mm
Espesor	<input type="text" value="50.0"/>	mm
Peso	<input type="text" value="19.80"/>	kg
Área módulo	<input type="text" value="1.627"/>	m ²

Células

En series	<input type="text" value="60"/>	
En paralelo	<input type="text" value="1"/>	
Size W x H	<input type="text" value="156.7"/> <input type="text" value="156.7"/>	mm
Área celular	<input type="text" value="245.5"/>	cm ²
Área células	<input type="text" value="1.473"/>	m ²

La definición del tamaño del Módulo es obligatoria: se utiliza para la determinación de la eficiencia "usual"
El área de células es facultativa: si se define, permite la definición de la eficiencia a nivel celular.

Tecnología y especificidad del módulo

Marco: Aluminium
Estructura: Tempered AR glass
Conexiones: MC-4
Generic module for DEMO

Voltaje máximo del conjunto

Voltaje absoluto máximo del conjunto en cualquier condición (es decir, Voc a la temperatura ambiente más baja posible).

Voltaje máximo IEC	<input type="text" value="1500"/>	V
Voltaje máximo UL (US)	<input type="text" value="1500"/>	V

Diodos de protección de derivación

Núm. de submódulos /módulo

(es decir, diodos de derivación funcionales)

Partición submódulo:

- En longitud
- En ancho
- Células de tejas
- Otro
- Medias células gemelas
- Tercios células gemelas, 5 filas
- Tercios células gemelas, 6 filas

Módulo teja
 CFV : módulo de concentración
 Módulo bifacial

Figura 16. Dimensiones y tecnología del módulo

Definición del inversor de red

Como modelo de inversor se seleccionó uno genérico de 3 kW monofásico capaz de trabajar a 50 y 60 Hz. A continuación, se muestran sus características generales en la Figura 17.

Lado de entrada (Campo FV CC)		Lado de salida (Red CA)	
Voltaje MPP mínimo	125 V	Frecuencia	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz <input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz
Voltaje mín. para PNom	188 V	Voltaje de red	230 V
Corriente de entrada máxima	16,5 A	Potencia de CA nominal	3,00 kW
Voltaje MPP nominal	N/A V	Potencia CA máxima	3,00 kW
Voltaje MPP máximo	440 V	Corriente CA nominal	13,04 A <input checked="" type="checkbox"/>
Voltaje FV máx. absoluto	550 V	Corriente CA máxima	16,00 A <input type="checkbox"/>
Umbral de potencia	15 W <input checked="" type="checkbox"/> Defecto	Eficiencia	
Especificación contractual, sin significado físico verdadero	<input type="checkbox"/> Requerido	Eficiencia máxima	97,00%
Potencia FV nominal	4,00 kW	Eficiencia EURO	96,30%
Potencia FV máxima	N/A kW <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Eficiencia definida para 3 voltajes	
Corriente FV máxima	N/A A <input type="checkbox"/>		

Figura 17. Inversor de red. Parámetros principales

En la imagen anterior se aprecian las magnitudes tanto de entrada como de salida de voltaje, al igual que el umbral de potencia y su eficiencia máxima de 97 %. Es importante considerar que los inversores no siempre operan a su máxima eficiencia, sino que depende de la potencia, por lo que es común emplear la Eficiencia EURO, que no es más que una eficiencia operativa promedio sobre una distribución de energía anual correspondiente al clima de Europa central.

En el siguiente gráfico de eficiencia vs potencia se aprecia lo que planteábamos anteriormente.

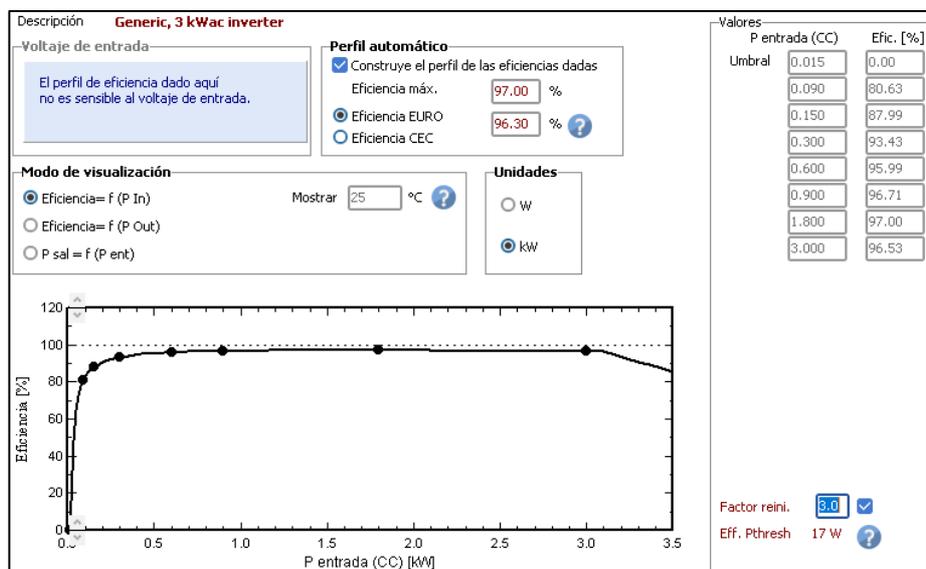


Figura 18. Curva de eficiencia del inversor de red

Se refleja como para potencias entre 1 kW y 3 kW la eficiencia alcanza y mantiene sus valores máximos.

El sistema fotovoltaico diseñado queda reflejado en el siguiente esquema

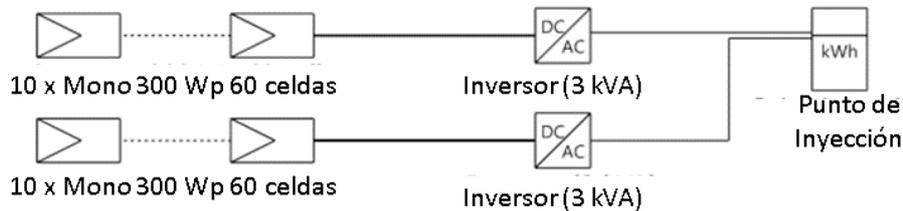


Figura 19. Diagrama de conexión

En las siguientes tablas se muestran a modo de resumen las características del arreglo fotovoltaico diseñado, al igual que algunas de sus pérdidas preliminares.

Tabla 4. Características del arreglo fotovoltaico

Módulo fotovoltaico		Inversor	
Fabricante	Genérico	Fabricante	Genérico
Modelo	Mono 300 Wp 60 células	Modelo	Inversor 3 kWac
Potencia Nom. Unidad	300 Wp	Potencia Nom. Unidad	3.00 kWac
Número de módulos FV	20 unidades	Número de inversores	2 unidades
Nominal (STC)	6.00 kWp	Potencia total	6.00 kWac
Módulos	2 cadenas x 10 en serie	Voltaje operativo	125-440 V
En condiciones operativas		Relación Pnom (DC:AC)	1.00
Pmpp	5.40 kWp		
U mpp	284 V		
I mpp	19 A		
Potencia total FV		Potencia total del inversor	
Nominal (STC)	6 kWp	Potencia total	6 kWac
Total	20 módulos	Número de inversores	2 unidades
Área del módulo	32.5 m ²	Relación Pnom	1.00
Área de las células	28.4 m ²		

Tabla 5. Pérdidas del arreglo fotovoltaico

Categoría	Detalles
Factor de Pérdida Térmica	Módulo de temperatura según la irradiancia
	Uc (constante): 20.0 W/m ² K
	Uv (viento): 0.0 W/m ² K/m/s

Pérdidas por Desajuste del Módulo	Fracción de Pérdida: 2.0 % a MPP
Factor de Pérdida IAM	Efecto de incidencia (IAM): 0.987
Pérdidas en el Cableado DC	Resistencia del arreglo global: 252 mΩ
	Fracción de Pérdida: 1.5 % a STC
Pérdida de Calidad del Módulo	Fracción de Pérdida: -0.8 %

4.2.3. Diseño físico del estacionamiento

A continuación, se diseñó y se modeló la estructura, la cual consta de ocho columnas modulares de acero las cuales sostienen cinco vigas transversales de perfil cuadrado, sobre las que descansa el tejado que consta de paneles galvanizados, este posee una inclinación de 20° con respecto a la horizontal, con el objetivo de que la estructura soporte descansa sobre el mismo plano del tejado, facilitando la instalación y disminuyendo la influencia del viento sobre ellos.

En las imágenes siguientes se muestran distintas vistas de la estructura

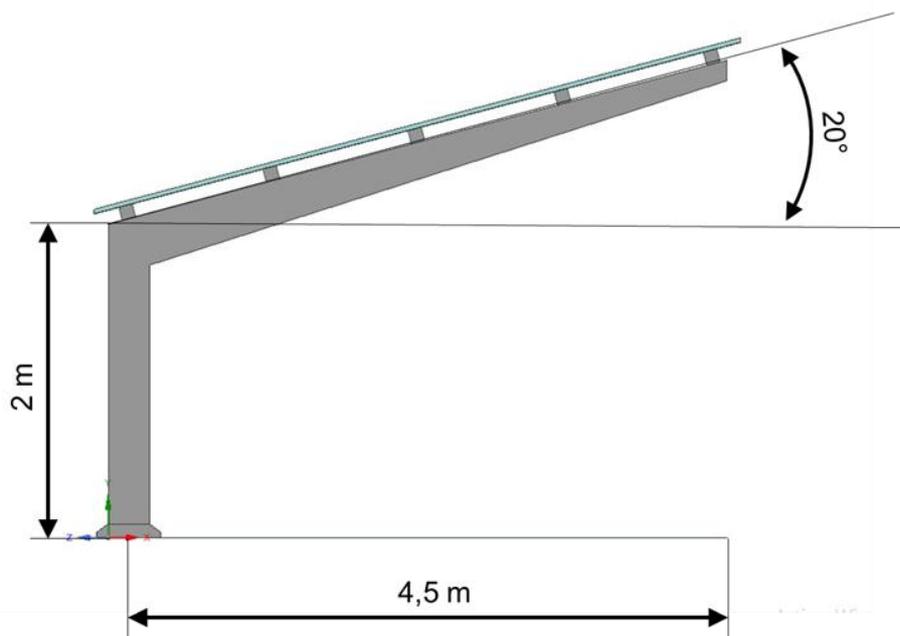


Figura 20. Vista lateral del estacionamiento

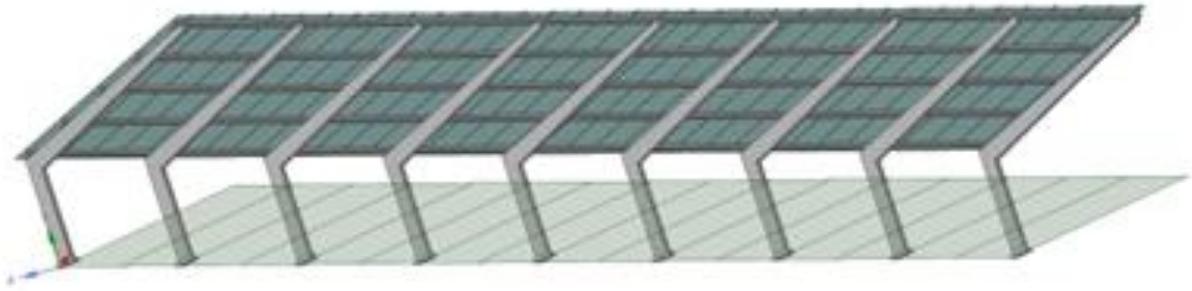


Figura 21. Vista inferior del estacionamiento

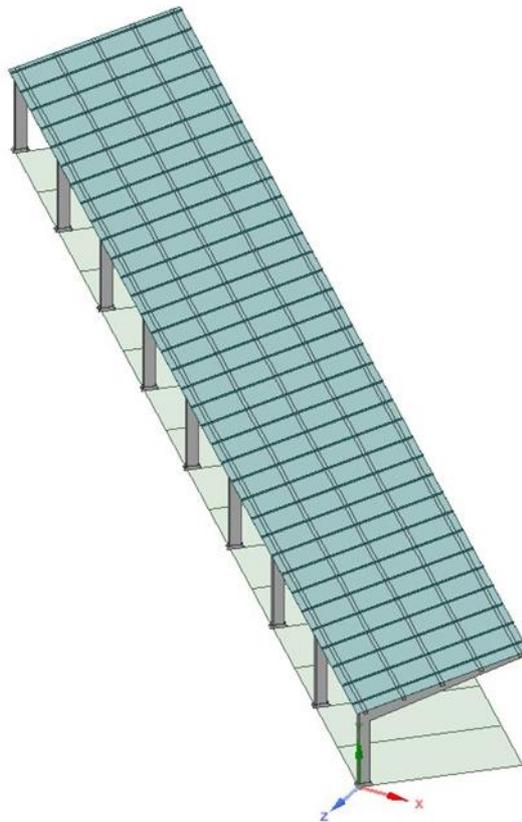
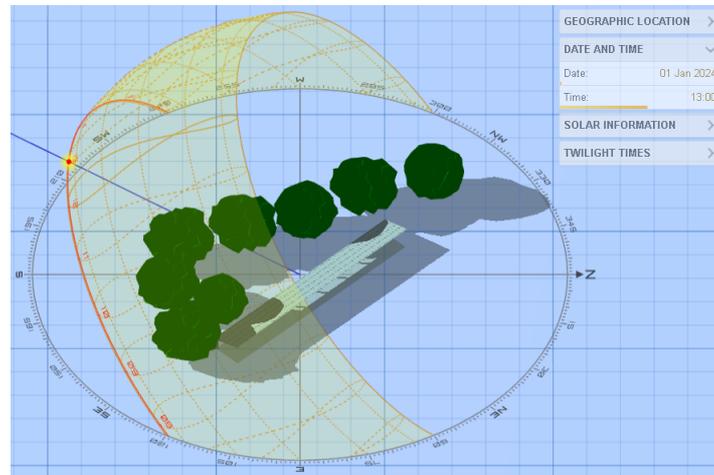


Figura 22. Vista superior del estacionamiento

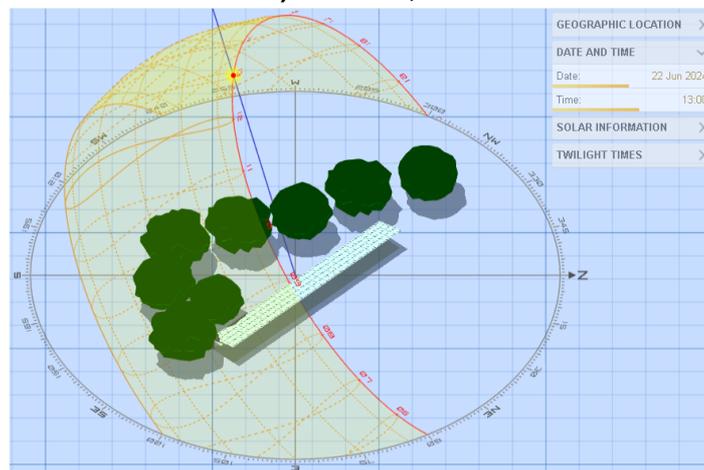
4.2.4. Análisis del entorno y el efecto de sombreado sobre el sistema

Para evaluar la influencia de los elementos del entorno en la futura instalación fotovoltaica, como la disminución de la generación causada por sombras o aparición de puntos calientes, se generó un escenario 3D del estacionamiento utilizando imágenes satelitales y datos obtenidos durante la visita al emplazamiento. Este modelo permitió analizar cómo afecta el recorrido del sol a lo largo del día en distintas estaciones del año, con el objetivo de identificar la zona óptima del tejado del estacionamiento para la instalación de las celdas solares.

Con la ayuda de una herramienta de simulación del recorrido del sol por la cúpula del cielo se estudiaron varios casos de los cuales se muestran los más representativos en las siguientes imágenes.



a) 1 enero, 13:00h



b) 22 de junio, 13:00h

Figura 23. Perspectiva de la instalación e influencia del sombreado.

A partir de este análisis se determinó la zona menos afectada debido a las sombras provocadas por la vegetación sobre la cubierta del estacionamiento, y se estableció como ubicación más favorable para la instalación de las celdas fotovoltaicas, las representada en las siguientes imágenes.

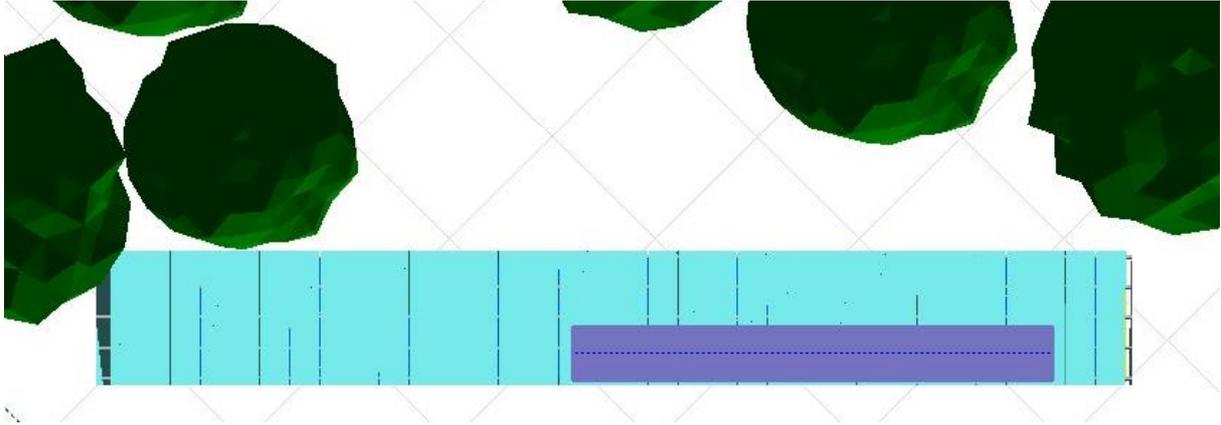


Figura 24. Escenario de los paneles solares sobre el tejado del estacionamiento

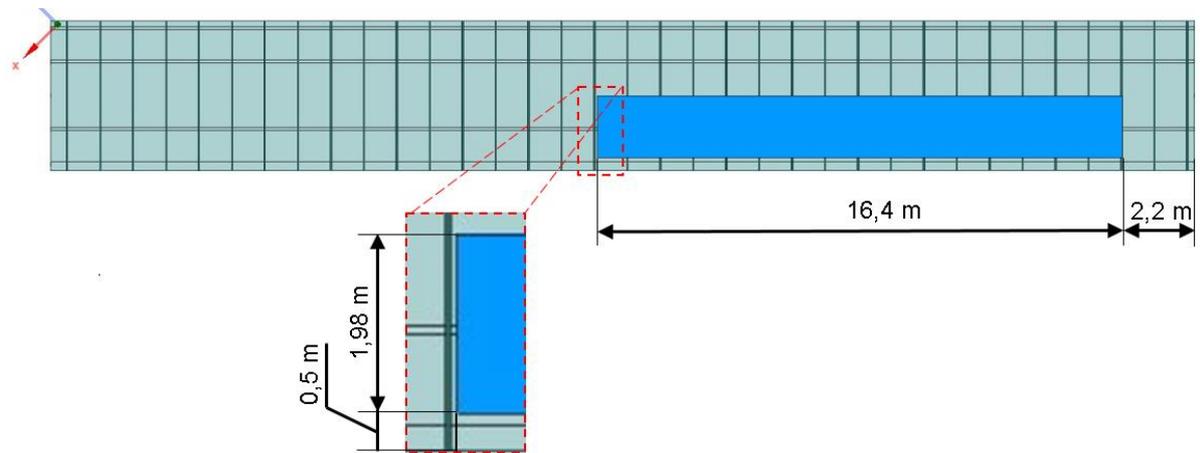


Figura 25. Ubicación y dimensiones de los paneles solares en tejado del estacionamiento

Con la configuración descrita durante esta sección se procedió a realizar la simulación en PVsyst. Los resultados obtenidos se plantearán y analizarán en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo se centra en el análisis detallado de los resultados obtenidos a través de la simulación en PVSyst, se presentan y discuten los diversos aspectos del sistema, como el diagrama solar, la producción energética anual, el coeficiente de rendimiento (PR) y el impacto del sombreado en la eficiencia. Además, se realiza un análisis exhaustivo del balance de emisiones de CO₂, proporcionando una visión completa del comportamiento del sistema a lo largo de su vida útil. Este capítulo ofrece una evaluación crítica de los resultados obtenidos, permitiendo así validar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto en el contexto de la transición hacia energías renovables.

Inicialmente se obtuvo un diagrama solar e Iso Shading el cual consiste en una expresión gráfica del factor de sombreado superpuesto al recorrido del sol correspondiente a cada estación y hora del día durante el año.

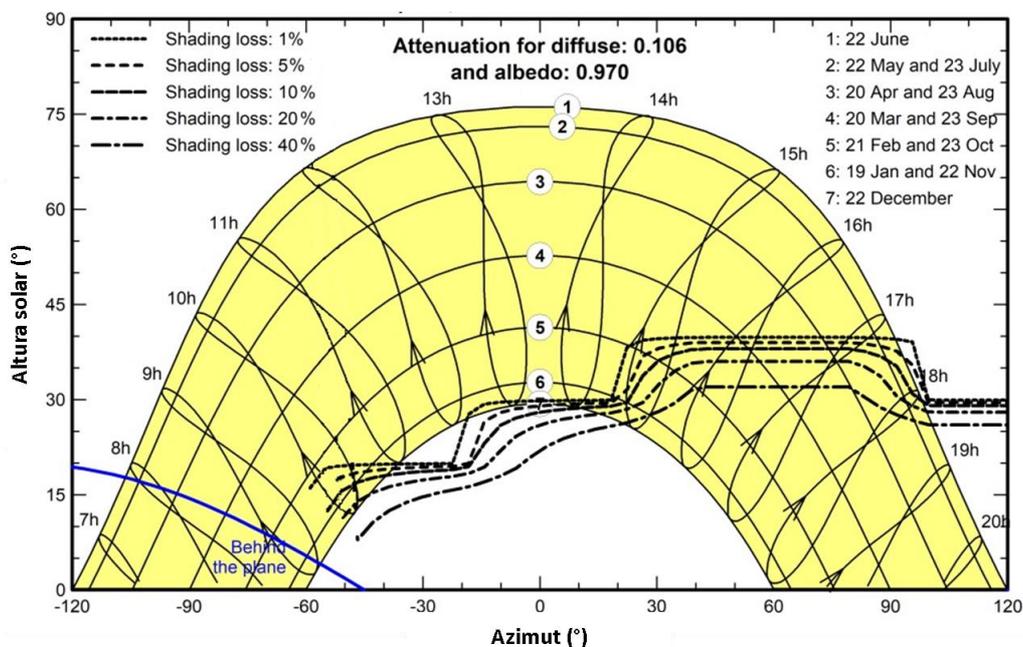


Figura 26. Diagrama de Iso Shading. Ángulo de inclinación/Azimut:20°/45°

Con esta configuración, se logra una incidencia de la radiación solar sobre los paneles prácticamente sin sombras durante los meses cálidos (marzo-septiembre). En cambio, durante los meses de menor radiación (octubre-febrero) se observan pérdidas parciales por sombreado alrededor de las 15:00 - 16:00 horas. En general, se evidencia un aprovechamiento eficiente de la energía solar en la instalación.

Uno de los resultados más importantes es la producción de energía de nuestro sistema, el cual nos arroja un valor de 8737,18 kWh/año. Y una producción específica de 1456 kWh/kWp/año. Ambos valores definen la capacidad de generación del sistema diseñado, el primero referido a la energía que se puede generar por hora,

mientras que el segundo plantea una relación entre la capacidad de generación nominal y su capacidad máxima en condiciones de prueba estándar o (STC).

Como coeficiente de rendimiento o PR por sus siglas en inglés se obtuvo un valor de 72,76%, esta es la proporción entre la energía efectivamente producida (utilizada) y la energía que se produciría si el sistema estuviera funcionando continuamente a su eficiencia nominal en condiciones (STC). El PR abarca las pérdidas ópticas (sombreamiento, modificador de ángulo incidente, suciedad), las pérdidas en el arreglo de paneles (conversión fotovoltaica, envejecimiento, calidad de los módulos, desajustes, cableado, entre otras) y las pérdidas del sistema (eficiencia del inversor en sistemas conectados a la red).

A diferencia del indicador de producción específica de energía, este no está directamente influenciado por las condiciones meteorológicas ni la orientación del plano. Esto facilita la comparación de la calidad del sistema entre instalaciones situadas en diferentes ubicaciones y con distintas orientaciones.

Por lo que para un sistema conectado a la red se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PR = \frac{E_{red}}{(GlobInc * PnomPV)} \quad \text{ecuación (1)}$$

E_{red} : Energía inyectada a la red por el sistema.

$GlobInc$: Irradiación global incidente en el plano del colector.

$PnomPV$: Potencia nominal del sistema (brindado por el fabricante).

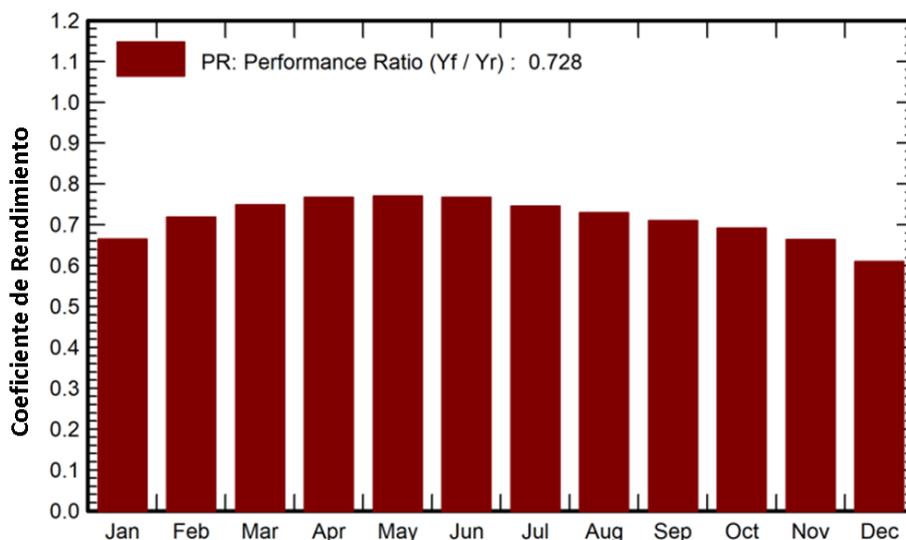


Figura 27. Coeficiente de rendimiento.

En el gráfico anterior se observa que los meses de mayor rendimiento son aquellos comprendidos entre marzo y agosto, obteniéndose un valor promedio de 0.728. Aunque este valor no alcanza el ideal del 100%, indica que se trata de una instalación fotovoltaica con un buen nivel de eficiencia.

En el siguiente gráfico se refleja la distribución mensual a lo largo de un año de la energía útil producida por la instalación al igual que las pérdidas asociadas al sistema eléctrico como al proceso de captación de la radiación incidente.

Estos indicadores están asociados con la energía incidente **GlobInc** en el plano del colector y se normalizan en función de la **Pnom** o potencia nominal instalada del conjunto bajo condiciones STC, según lo indica el fabricante del módulo fotovoltaico [kWp].

Por consiguiente, no dependen del tamaño del conjunto, la ubicación geográfica ni la orientación del campo. Esto se realiza con el objetivo de facilitar la comparación entre diferentes instalaciones.

En estas definiciones, las energías de rendimiento se expresan en [kWh / kWp / día]. Es decir, estas magnitudes son equivalentes al tiempo de funcionamiento bajo una irradiancia constante de 1 kW/m² y también pueden expresarse como [kWh/m²/día].

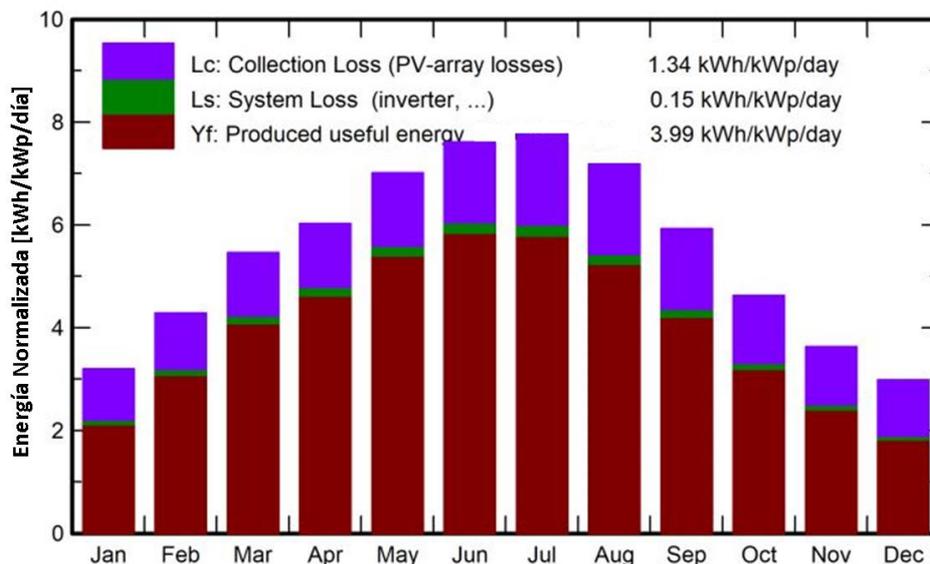


Figura 28. Producción normalizada (por kWp instalado)

En la Tabla 6 se muestra un resumen del balance y los resultados principales del sistema fotovoltaico.

Tabla 6. Balance de resultados

Mes	<i>GlobHor</i> (kWh/m ²)	<i>DiffHor</i> (kWh/m ²)	<i>T_Amb</i> (°C)	<i>GlobInc</i> (kWh/m ²)	<i>GlobEff</i> (kWh/m ²)	<i>EArray</i> (kWh)	<i>E_Grid</i> (kWh)	<i>PR</i> (Ratio)
Enero	77.0	27.70	10.37	99.1	81.8	412	395	0.665
Febrero	98.8	33.80	11.46	120.1	105.4	537	517	0.718
Marzo	149.8	52.10	14.40	169.3	151.5	788	760	0.748
Abril	174.9	70.60	16.53	180.9	166.0	863	832	0.767
Mayo	216.7	75.20	20.28	217.5	202.6	1041	1005	0.766
Junio	232.4	69.70	23.63	228.5	215.8	1090	1051	0.767
Julio	242.4	61.40	25.98	241.0	226.8	1117	1076	0.745
Agosto	215.5	61.50	25.20	222.7	206.4	1078	975	0.729
Septiembre	161.2	53.50	20.18	164.0	148.0	800	757	0.747
Octubre	122.4	43.70	19.94	143.3	127.2	617	594	0.691
Noviembre	85.0	34.70	14.21	108.8	92.6	454	339	0.664
Diciembre	69.1	27.30	11.55	99.6	72.7	354	339	0.610
Año	1845.2	610.40	18.19	2001.4	1806.3	9064	8737	0.728

GlobHor: Irradiación global horizontal

DiffHor: Irradiación difusa horizontal

T_Amb: Temperatura ambiente

GlobInc: Irradiación global incidente en el plano del colector

GlobEff: Irradiación global efectiva, corregida por IAM y sombras

EArray: Energía efectiva a la salida del conjunto

E_Grid: Energía inyectada a la red

PR: Relación de rendimiento (Performance Ratio)

El análisis de la Tabla 6 proporciona una visión completa del desempeño del sistema fotovoltaico durante un año. Algunos puntos importantes que se pueden destacar son:

Junio y julio destacan como los meses con mayor producción energética, con *EArray* de 1090 kWh y 1117 kWh, respectivamente.

Diciembre y enero son los de menor producción, algo esperable debido a la baja irradiación durante estos meses, con *GlobInc* de 99.6 kWh/m² y 99.1 kWh/m² respectivamente

La caída en el *PR* en meses como diciembre y enero puede estar relacionada con condiciones climáticas adversas (baja irradiación, sombras) o pérdidas en el sistema. La energía inyectada a la red *E_Grid* está muy cercana a la energía generada por el conjunto de paneles *EArray*, lo que indica que las pérdidas en la conversión y transmisión son relativamente bajas.

La diferencia entre *GlobInc* y *GlobEff* sugiere pérdidas por factores como suciedad en los módulos, sombras, y ángulos subóptimos.

La temperatura ambiente varía significativamente durante el año, con un promedio de 18.19°C. Esto puede afectar el rendimiento de los paneles, ya que temperaturas más altas suelen reducir la eficiencia de conversión.

En general, el sistema fotovoltaico muestra un buen comportamiento, con un desempeño estable y pérdidas relativamente bajas. Sin embargo, hay espacio para optimizar la producción durante los meses de invierno, tal vez a través de un ajuste de ángulos en los paneles. Para una mejor comprensión de las pérdidas asociadas al funcionamiento de la instalación se confeccionó el siguiente diagrama de pérdidas.

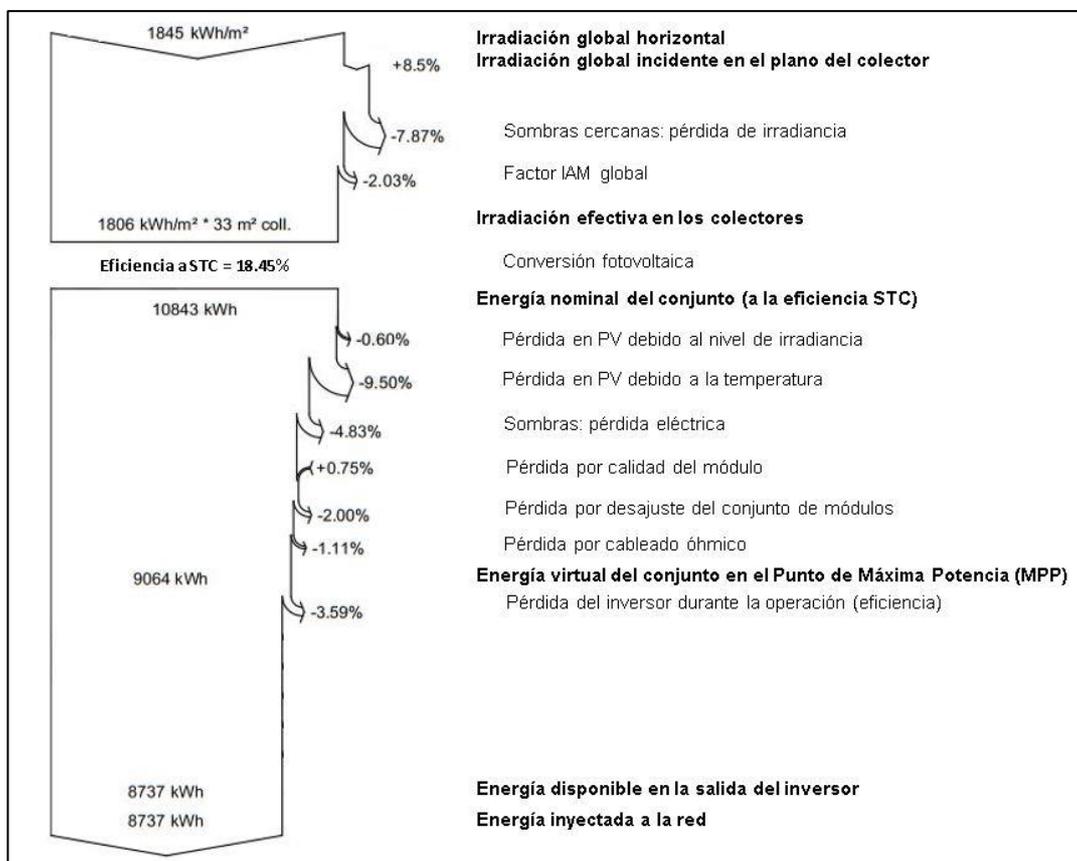


Figura 29. Diagrama de pérdidas

El diagrama ilustra claramente cómo la energía disponible desde la irradiación inicial se reduce progresivamente debido a factores como sombras, ángulo de incidencia, temperatura, calidad de los módulos, desajustes, pérdidas óhmicas y la eficiencia del inversor. El rendimiento general del sistema, considerando la eficiencia STC y las pérdidas, termina siendo un 14.35% de la irradiación global horizontal.

Este valor en un sistema fotovoltaico puede considerarse dentro de lo normal, pero ligeramente por debajo de la media. En sistemas fotovoltaicos modernos, el rendimiento global (la relación entre la energía inyectada y la irradiación solar disponible) suele situarse entre el 15% y el 20% en instalaciones bien diseñadas. En nuestro caso particular, el rendimiento se ve afectado por varios factores, como las sombras cercanas y las pérdidas por temperatura, que representan un 9.5%, un valor significativo, especialmente en climas cálidos o en situaciones donde la ventilación de los módulos es insuficiente.

A continuación, se analiza un diagrama de entrada y salida diaria de la energía que representa la relación entre la irradiación global diaria incidente en el plano de los colectores (eje X) y la energía útil diaria generada por el sistema (eje Y).

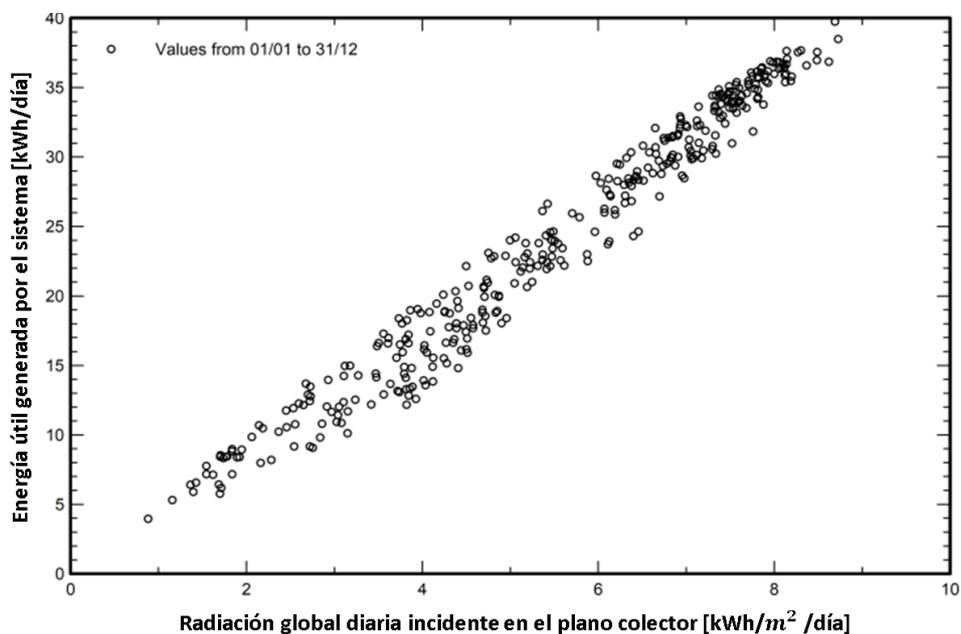


Figura 30. Diagrama de entrada y salida diaria de energía

En la Figura 30 se observa una tendencia clara y lineal, a medida que aumenta la irradiación global incidente, la energía útil generada también incrementa de manera proporcional. La nube de puntos sigue de manera consistente una línea ascendente, lo cual sugiere que el sistema responde de forma eficiente a los cambios en la irradiación.

Aunque la relación es mayormente lineal, se nota una ligera dispersión en los puntos. Esta dispersión puede ser causada por variaciones en factores como la temperatura, sombras, o pérdidas en el sistema, que afectan la eficiencia de la conversión en diferentes días. En días con menor irradiación (por debajo de 4 kWh/m²/día), la dispersión es algo más pronunciada, lo que puede indicar condiciones de operación subóptimas como mal clima.

En la parte superior derecha, donde la irradiación global está entre 7 y 9 kWh/m²/día, se observa un buen rendimiento con valores de energía útil alrededor de los 30 – 35 kWh/día. Esto indica que el sistema es capaz de aprovechar eficientemente las condiciones óptimas de irradiación.

El gráfico refleja un comportamiento saludable del sistema fotovoltaico, con una relación bastante lineal entre la irradiación solar y la energía generada, este parece aprovechar bien las condiciones óptimas de irradiación, lo que es un indicativo positivo del rendimiento general.

A continuación, se analiza un gráfico que muestra la distribución de potencia de salida del sistema fotovoltaico, con datos recogidos a lo largo de un año (del 01/01 al 31/12).

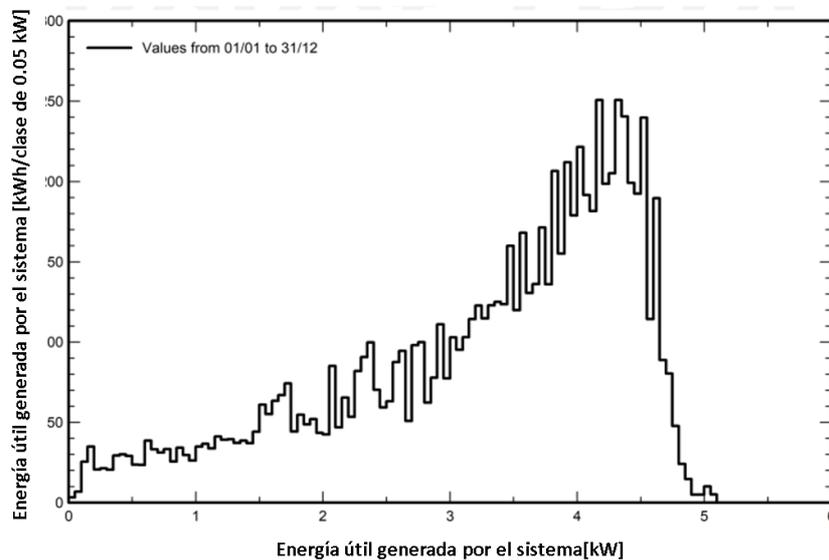


Figura 31. Distribución de potencia de salida del sistema

El eje Y muestra la cantidad de energía generada por cada clase de potencia (0.05 kW) a lo largo del año. Está expresado en kWh y refleja la frecuencia con la que el sistema opera a determinadas potencias.

La gráfica tiene una forma característica de campana asimétrica. A medida que se incrementa la potencia útil, la frecuencia de operación del sistema también aumenta, alcanzando un pico alrededor de los 4 kW. Luego, a medida que la potencia útil aumenta más allá de los 4 kW, la frecuencia de operación disminuye abruptamente.

La forma del gráfico sugiere que, durante la mayoría de los días, la instalación no alcanza su capacidad máxima. Esto es típico en regiones donde la irradiación solar varía considerablemente a lo largo del año.

El sistema opera con mayor frecuencia en un rango de potencia entre 2.5 kW y 4.5 kW, siendo el rango de 3.5 kW a 4 kW el más común sugiriendo que el sistema se encuentra en un rango óptimo de producción durante un número significativo de horas al año.

5.1. Análisis del Balance de Emisiones de CO₂

La instalación fotovoltaica analizada genera un balance de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a lo largo de su vida útil. Este análisis evalúa tanto las emisiones generadas durante la fabricación y operación del sistema como las emisiones evitadas por la sustitución de fuentes de energía convencionales. El objetivo de este apartado es presentar y analizar los datos obtenidos en relación con las emisiones de CO₂, cuantificando el impacto ambiental de la instalación en un periodo de 20 años.

Emisiones Generadas

- Módulos fotovoltaicos: Generan 10,276 kgCO₂ (equivalente a 10.276 tCO₂) debido a la producción de 6.00 kWp de capacidad instalada, con un factor de emisión de 1713 kgCO₂/kWp.
- Estructuras de soporte: Con un peso total de 200 kg, generan 1,249 kgCO₂ (1.249 tCO₂), a un factor de emisión de 6.24 kgCO₂/kg.
- Inversores: Dos unidades de inversores generan 1,237 kgCO₂ (1.237 tCO₂), con un factor de emisión de 619 kgCO₂/unidad.

En conjunto, las emisiones directas generadas por el sistema ascienden a 12.76 tCO₂.

La instalación fotovoltaica sustituye un total de 50.2 tCO₂ que habrían sido emitidas si la energía generada (8737.18 kWh/año) proviniera de la red eléctrica convencional. Este cálculo se basa en una emisión promedio de la red de 287 gCO₂/kWh para España, según datos de la IEA.

Balance de Emisiones y Ahorro Neto

Al considerar el balance de emisiones en la Figura 32, es posible observar que la instalación evita más emisiones de CO₂ de las que genera. El gráfico de emisiones acumuladas muestra que, después de aproximadamente 5 años, el sistema comienza a ahorrar más CO₂ del que fue emitido durante su construcción y operación. Este ahorro se incrementa de manera casi lineal a lo largo de la vida útil del sistema, alcanzando un balance positivo de 32.9 tCO₂ al final de los 20 años.

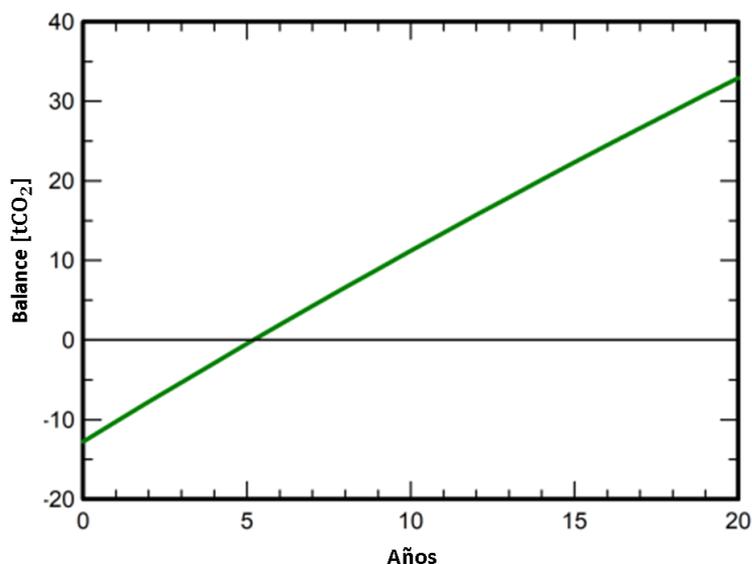


Figura 32. Emisiones de CO_2 ahorradas

Es relevante considerar que la eficiencia del sistema decrece a una tasa anual del 1.0%, lo que implica una reducción en la capacidad de ahorro de emisiones de CO_2 a medida que avanza el tiempo. Aun así, este decrecimiento es compensado por el ahorro acumulativo en emisiones sustituidas, lo que confirma la eficacia del sistema en la reducción del impacto ambiental a largo plazo.

Este análisis proporciona una base sólida para defender la viabilidad del sistema fotovoltaico como parte de la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, resaltando la importancia de evaluar los balances de emisiones en la implementación de tecnologías renovables.

5.2. Análisis de viabilidad económica y financiera

En esta sección, se llevará a cabo un análisis económico y financiero de la instalación solar fotovoltaica propuesta. Este análisis incluye la evaluación de los costos iniciales de inversión, los gastos operativos y de mantenimiento, así como los ingresos proyectados por la generación de energía y los ahorros derivados de la reducción en el consumo de fuentes energéticas convencionales. Se utilizarán indicadores financieros clave, como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión, para determinar la rentabilidad y sostenibilidad económica del proyecto a lo largo de su vida útil. Este análisis es crucial para justificar la implementación de la instalación y para garantizar que los beneficios económicos estén alineados con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética.

En la Tabla 7 se reflejan los distintos costos asociados a la instalación. Estos se tomaron a partir de un análisis del mercado y de ejemplos de presupuestos de proyectos similares.

Tabla 7. Costos del Sistema

Elemento	Cantidad unidades	Costo EUR	Total EUR
Módulos fotovoltaicos			
Mono 300 Wp 60 celdas	20	120.00	2,400.00
Soportes para módulos	20	20.00	400.00
Inversor de 3 kWac	2	500.00	1,000.00
Cableado	1	200.00	200.00
Estudios y análisis			
Ingeniería	1	150.00	150.00
Permisos y otras tarifas administrativas	1	250.00	250.00
Instalación			
Costo global de instalación por módulo	20	10.00	200.00
Costo global de instalación por inversor	2	50.00	100.00
Transporte	1	500.00	500.00
Configuración	1	150.00	150.00
Conexión a la red	1	150.00	150.00
Seguros			
Seguro de construcción	1	50.00	50.00
Seguro de responsabilidad civil	1	50.00	50.00
Cargos bancarios de préstamos			100.00
Impuestos			
IVA	1	0.00	340.00
Total			6,040.00
Activo depreciable			3,800.00

A continuación, se muestran los costos asociados a la operación.

Tabla 8. Costos de operación

Elemento	Total EUR/ Año
Mantenimiento	
Provisión para la reparación del inversor	200,00
Reparaciones	150,00
Limpieza	100,00
Fondo de seguridad	100,00
Seguro de instalación	50,00
Seguro de préstamo	100,00
Total	700,00
Incluyendo inflación (1.50%)	841,76

Resumen del sistema

- Costo total de instalación: 6,040.00 EUR
- Costos operativos (incl. inflación 1.50%/año): 841.76 EUR/año
- Energía producida: 8737 kWh/año
- Costo de la energía producida (LCOE): 0.1374 EUR/kWh

5.2.1 Análisis financiero

Para la realización de este análisis financiero se consideró un tiempo de vida del proyecto de 25 años comenzando en el año 2024.

Variación de ingresos a lo largo del tiempo

- Inflación: 1.50 %/año
- Variación de la producción (envejecimiento): -0.50 %/año
- Tasa de descuento: 1.00 %/año

Tabla 9. Activos depreciables

Activo	Método de depreciación	Período de depreciación años	Depreciable EUR
Módulo 300 Wp 60 celdas	Línea recta	20	2,400.00
Soportes para módulos	Línea recta	20	400.00
Inversor de 3 kWac	Línea recta	20	1,000.00
Total			3,800.00

Financiación

Fondos propios: 1.200,00 EUR

Préstamo redimible con anualidad fija, 10 años: 4.840,00 EUR

Tasa de interés: 3,00%/año.

Tarifa de consumo eléctrico

Tarifa pico: 0.23 EUR/kWh

Tarifa fuera de valle: 0.15 EUR/kWh (00:00-08:00, 14:00-18:00)

Tabla 10. Recuperación de la inversión

Concepto	Valor
Período de recuperación	7.3 años
Valor presente neto (VPN)	10,545.70 EUR
Tasa interna de retorno (TIR)	34.39 %
Retorno sobre la inversión (ROI)	174.6 %

Una descripción económica más detallada se plantea en el Anexo 2.

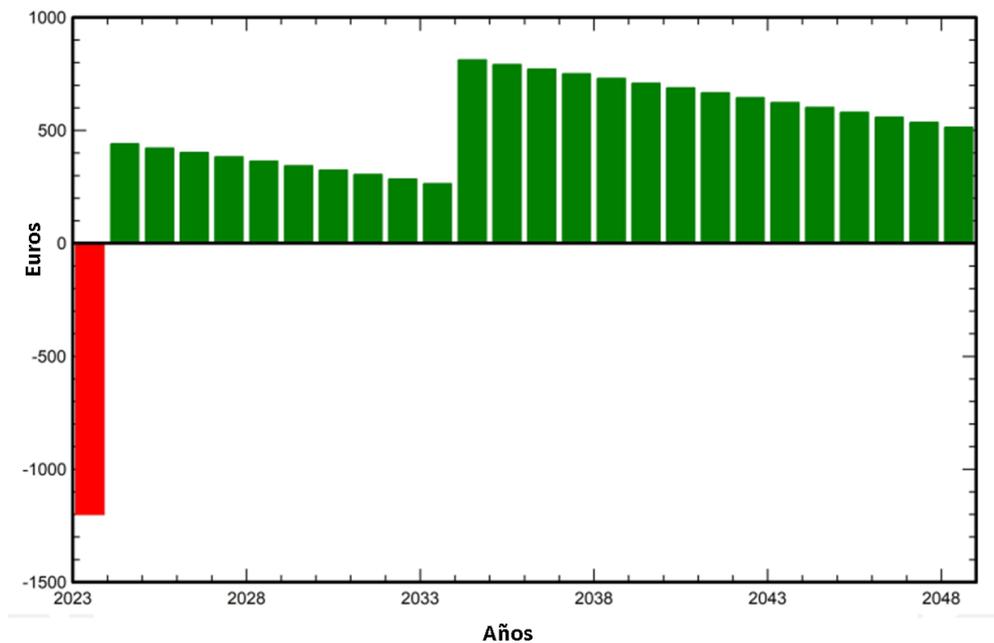


Figura 33. Ganancia anual (EUR) de la instalación

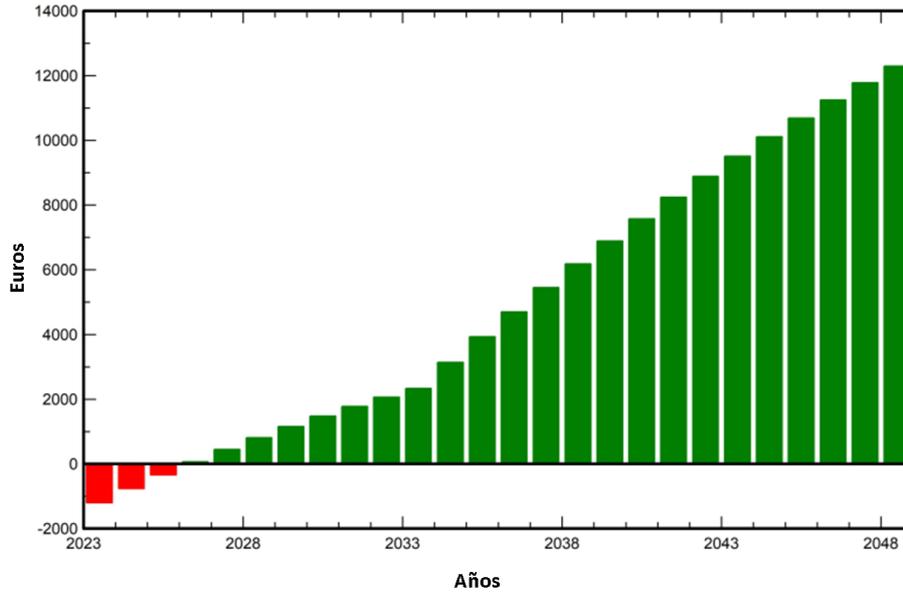


Figura 34. Flujo de caja acumulativo de la instalación

En esta sección se presenta una evaluación detallada de los costos de inversión inicial, los gastos operativos y los ingresos proyectados para la instalación solar fotovoltaica asociada a nuestro proyecto. Utilizando indicadores financieros clave, se concluye que el proyecto es económicamente viable. Con un período de recuperación de 7.3 años, una TIR del 34.39% y un ROI del 174.6%, los resultados demuestran que la inversión es rentable y sostenible a lo largo del tiempo, alineándose con los objetivos de eficiencia energética y sustentabilidad.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha abordado de manera integral el diseño y análisis de un sistema de recarga de vehículos eléctricos basado en energía fotovoltaica, con el propósito de implementar una solución sostenible en el entorno del Campus de la Rábida de la Universidad Internacional de Andalucía. A lo largo de este estudio, se plantearon varios objetivos específicos que se cumplieron de manera satisfactoria, demostrando la viabilidad técnica, económica y ambiental del sistema propuesto.

En primer lugar, se logró diseñar un sistema de recarga de vehículos eléctricos que utiliza la energía solar fotovoltaica como fuente principal de generación, aprovechando la abundante radiación solar disponible en la región. La elección del sitio, así como la disposición de los paneles solares, se realizaron considerando factores clave como la orientación óptima y la inclinación, los cuales fueron determinados mediante simulaciones detalladas en el software PVsyst. La configuración final del sistema, con una potencia nominal de 6 kWp, resultó ser adecuada para satisfacer las necesidades energéticas del estacionamiento propuesto, con la posibilidad de inyectar el excedente de energía a la red eléctrica de la universidad, optimizando así el uso de los recursos disponibles.

Uno de los resultados más significativos obtenidos en esta investigación es la capacidad del sistema para generar 8737,18 kWh anuales, con una producción específica de 1456 kWh/kWp/año. Estos valores no solo demuestran la eficiencia del sistema bajo las condiciones climáticas específicas de la ubicación, sino que también destacan la capacidad del sistema para contribuir de manera significativa a la reducción del consumo de energía de fuentes convencionales. Además, se obtuvo un coeficiente de rendimiento (PR) del 72,76%, lo que indica un uso eficiente de la energía generada por los paneles solares, a pesar de las inevitables pérdidas debido al sombreado parcial durante algunos meses del año. Es importante señalar que, aunque el PR no alcanzó el ideal del 100%, este valor refleja un rendimiento sólido y sostenible para el sistema propuesto.

Desde un enfoque ambiental, uno de los resultados más destacados de este estudio es la reducción significativa de emisiones de CO₂ que se logra gracias al sistema implementado. A lo largo de la vida útil proyectada del proyecto, se estima que se dejarán de emitir aproximadamente 32,9 toneladas de CO₂ a la atmósfera, lo que representa un aporte considerable a la mitigación del cambio climático y a la mejora de la calidad del aire. Esta reducción de emisiones se alinea directamente con los objetivos globales de sostenibilidad y subraya la importancia de adoptar fuentes de energía renovable en aplicaciones cotidianas como la movilidad eléctrica.

El análisis económico-financiero también arrojó resultados favorables, confirmando la viabilidad del proyecto desde una perspectiva económica. El cálculo del Valor Presente Neto (VPN) indicó un valor positivo de 10,545.70 EUR, lo cual, junto con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 34.39% y un periodo de recuperación de la inversión de 7.3 años, demuestra que el proyecto no solo es rentable, sino que también ofrece un retorno atractivo en un plazo razonable. Estos indicadores financieros, junto con un Retorno sobre la Inversión (ROI) del 174.6%, corroboran que la inversión en este sistema de recarga no solo es sostenible a largo plazo, sino que también genera beneficios económicos significativos, lo que refuerza la propuesta de valor del proyecto.

En términos de la infraestructura de recarga, se demostró que es posible diseñar un estacionamiento equipado con un sistema de recarga eficiente, capaz de atender la demanda energética de vehículos eléctricos de manera sostenible. La estructura propuesta no solo es funcional, sino que también se integra armónicamente en el entorno, minimizando el impacto visual y estructural en el campus. La implementación de este sistema en el Campus de la Rábida, por tanto, tiene el potencial de convertirse en un modelo replicable para otros contextos similares, ofreciendo una solución viable para la expansión de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos en otras instituciones educativas o entornos urbanos.

Los resultados obtenidos respaldan la implementación de este tipo de soluciones como una alternativa eficaz para la promoción de la movilidad sostenible y la reducción del impacto ambiental en el sector del transporte. Este trabajo no solo contribuye al conocimiento en el campo de las energías renovables y la movilidad eléctrica, sino que también ofrece una base para futuras investigaciones y desarrollos en este ámbito. La integración de tecnologías limpias en la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos es un paso crucial hacia un futuro más sostenible, y este estudio aporta evidencia clara de que es posible avanzar en esa dirección con éxito.

REFERENCIAS

- Al-Hanahi, B., Ahmad, I., Habibi, D., & Masoum, M. A. (2021). Charging infrastructure for commercial electric vehicles: Challenges and future works. *IEEE Access*, 9, 121476-121492.
- Alhelou, H. H., Amani, A. M., Sajjadi, S. S., & Jalili, M. (Eds.). (2023). *Electric Transportation Systems in Smart Power Grids: Integration, Aggregation, Ancillary Services, and Best Practices*. CRC Press.
- Amara-Ouali, Y., Goude, Y., Massart, P., Poggi, J. M., & Yan, H. (2021). A review of electric vehicle load open data and models. *Energies*, 14(8), 2233.
- Anastasiadou, K., Gavanas, N., Pitsiava-Latinopoulou, M., & Bekiaris, E. (2021). Infrastructure planning for autonomous electric vehicles, integrating safety and sustainability aspects: A multi-criteria analysis approach. *Energies*, 14(17), 5269.
- Ang, T. Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939.
- Aparicio Izquierdo, F., & López Martínez, J. M. (2010). *Vehículos híbridos y eléctricos*. Dextra.
- Aparicio, M. P. (2009). *Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada*. Marcombo.
- Aparicio, M. P. (2020). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo.
- Asociación Española de Normalización. (2017). *UNE-EN 62196-2: Conectores para vehículos eléctricos. Requisitos dimensionales de acoplamientos de corriente alterna de contacto y acoplamientos de clavija de vehículo y de entrada de vehículo*.
- Banos, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A., & Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1753-1766.
- Barbier, E. (2002). *Geothermal energy technology and current status: An overview*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(1-2), 3-65.
- Braun, J. E., & Mitchell, J. C. (1983). Solar geometry for fixed and tracking surfaces. *Solar energy*, 31(5), 439-444.
- Cantos Serrano, J. (2022). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas 2*. Ediciones Paraninfo, SA.

- Catalá, J. T. (2019). Todo lo que debes saber sobre el coche eléctrico. Universitat de València.
- Clairand, J. M., Guerra-Terán, P., Serrano-Guerrero, X., González-Rodríguez, M., & Escrivá-Escrivá, G. (2019). Electric vehicles for public transportation in power systems: A review of methodologies. *Energies*, 12(16), 3114.
- Cohen, A. J., Anderson, H. R., Ostro, B., Pandey, K. D., Kryzanowsky, M., Kuenzly, N., et al. (2015). *Mortality impacts of urban air pollution. Comparative quantification of health risks: Global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors.*
- Dye, S. T. (2012). Geoneutrinos and the radioactive power of the Earth. *Reviews of Geophysics*, 50(3).
- European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport. (2011). *White paper on transport: Roadmap to a single European transport area: Towards a competitive and resource efficient transport system.* Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2832/30955>
- European Commission. (2022, May 18). *REPowerEU Plan.* https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11eca95f-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF
- European Wind Energy Association. (2012). *Wind energy-the facts: a guide to the technology, economics and future of wind power.* Routledge.
- Fernández Alvarez, C., & Molnar, G. (2021, October 12). *What is behind soaring energy prices and what happens next?* IEA. <https://www.iea.org/commentaries/what-is-behind-soaring-energy-prices-and-what-happens-next>
- Frías, P., Díaz, A., Martínez, M., & Pérez, M. (2023, October 20). *Estaciones de recarga.* Observatorio del Vehículo Eléctrico y Movilidad Sostenible. <https://evobservatory.iit.comillas.edu/datos-e-indices-2-2>
- Gómez Blanco, M. (2014). *El mercado del coche eléctrico será masivo.* *El País.* economia.elpais.com/economia/2014/10/17/actualidad/1413553627_303994.html
- Hamann, A. (2015). *Coordinated predictive control of a hydropower cascade* (Tesis de maestría, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA). Carnegie Mellon University.

- Ingeteam. (s.f.). *IngeREV City Duo*. https://www.ingetteam.com/es-es/sectores/movilidad-electrica/p15_58_285/ingerev-city-duo.aspx
- International Electrotechnical Commission. (2017). *Electric vehicle conductive charging system* (IEC 61851). IEC.
- International Energy Agency. (2011). *Solar Energy Perspectives*. OECD Publishing.
- International Renewable Energy Agency: Annual Report 2023*. Abu Dhabi: IRENA.
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62, 1092-1105.
- Mascarós Mateo, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2015). *Instrucción Técnica Complementaria BT-52: Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos*. Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-13681>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2023, julio). *El MITECO asigna 234,6 millones en nuevas ayudas para proyectos*. Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2023/07/el-miteco-asigna-234-6-millones-en-nuevas-ayudas--para-proyectos.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2023, septiembre 29). *El MITECO lanza una nueva campaña publicitaria que destaca el valor de la transición ecológica*. Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2023/09/el-miteco-lanza-una-nueva-campana-publicitaria-que-destaca-el-va.html>
- Miranda Hernández, J. M., & Iglesias González, M. N. (2015). *Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico*. *Observatorio Medioambiental*, 18, 57-85.
- Moore, C., Brown, S., MacDonald, P., Ewen, M., & Broadbent, H. (2022). *European electricity review 2022*. Ember: London, UK.
- OECD. (2016). *Energy and air pollution: World energy outlook special report 2016*. OECD Publishing.

- Ordenanza Urbana de Huelva. (2010). *Ayuntamiento de Huelva*. 11 de noviembre de 2010.
- Organización de las Naciones Unidas. (1987). *Our common future: Brundtland report*. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Asamblea General de la ONU, 4 de agosto de 1987.
- Palz, W. (Ed.). (2013). *Solar power for the world: What you wanted to know about photovoltaics* (Vol. 4). CRC press.
- PVsystem SA. (2024). *PVsystem user manual* (Version 7.2) [PDF]. PVsystem. <https://www.pvsystem.com/pdf-tutorials/>
- RED Eléctrica de España. (2021). *The Spanish Electricity System – Preliminary Report 2021*. https://www.ree.es/sites/default/files/publication/2022/04/downloadable/avance_ISE_2021_EN.pdf
- REN21. (2022). *Global status report*. <https://www.ren21.net/gsr-2022/>
- Santamarta, J. (2009). El futuro del automóvil es eléctrico. *Técnica Industrial*, 281, 26-35.
- Sawant, S., & Prajapati, D. (2017). *A review on zero emissions vehicles*. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(2), 198–202.
- Sawin, J. L., Sverrisson, F., Rutovitz, J., Dwyer, S., Teske, S., Murdock, H. E., ... & Arris, L. (2018). *Renewables 2018: Global status report. A comprehensive annual overview of the state of renewable energy*. Advancing the global renewable energy transition: Highlights of the REN21 Renewables 2018 Global Status Report in perspective.
- Schmidt, M., Zmuda-Trzebiatowski, P., Kiciński, M., Sawicki, P., & Lasak, K. (2021). Multiple-criteria-based electric vehicle charging infrastructure design problem. *Energies*, 14(11), 3214.
- Smil, V. (2006). *Transforming the twentieth century: technical innovations and their consequences* (Vol. 2). Oxford University Press.
- Sperling, D., & Gordon, D. (2009). *Two billion cars: driving toward sustainability*. Oxford University Press.
- Tesla, Inc. (2022). *Supercharger: The fast charging network for electric vehicles*. <https://www.tesla.com/supercharger>

- Tester, J. W., Drake, E. M., Driscoll, M. J., Golay, M. W., & Peters, W. A. (2005). *Sustainable energy: Choosing among options* (1st ed.). MIT Press.
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable energy resources*. Routledge.
- Urban, F., & Mitchell, T. (2011). *Climate change, disasters and electricity generation. Strengthening Climate Resilience Discussion Paper* (No. 8), 22-23.
- World Energy Council. (2013). *World energy resources*. London: World Energy Council.

ANEXOS

Anexo 1. Legislación y normativa relacionada con la movilidad eléctrica

Fecha	Nombre	Desarrollo
13/05/2022	PERTE VEC	Desarrollado en diferentes órdenes: Orden PCM/756/2021 de 16 de julio; Orden ICT/1426/2021 de 23 de diciembre; Orden ICT/209/2022 de 17 de marzo y Orden ICT/426/2022 de 13 de mayo.
31/12/2022	Movilidad Sostenible Madrid	Ordenanza de Movilidad Sostenible, de 5 de octubre de 2018, actualizada en 2022.
30/03/2022	RDL 6/2022	RDL 6/2022 modifica la Ley 24/2013 (del Sector Eléctrico) en el catálogo de infracciones, y se facilitan los trámites para la instalación de puntos de recarga
22/12/2021	RDL 29/2021	Por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito energético para el fomento de la movilidad eléctrica, el autoconsumo y el despliegue de energías renovables.
21/12/2021	RD 1125/2021	Subvenciones a distribuidoras eléctricas para infraestructuras de recarga de más de 250 kW, entre otras cosas.
17/12/2021	Orden 1427/2021 (MOVES flotas)	Orden 1427/2021 del 17 de diciembre (MOVES Flotas). Dentro del Componente 1, Inversión 2 (C1, I2) del PRTR (Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia). Aprueba las bases reguladoras del Programa de ayudas a proyectos de electrificación de flotas de vehículos ligeros; tiene un presupuesto de 50 M€.
23/07/2021	Proyectos singulares II	Orden TED/800/2021 de 23 de julio: Proyectos singulares II, con un presupuesto de 100 M€ para incentivos a proyectos singulares en movilidad eléctrica
20/05/2021	Ley del Cambio Climático	Ley 7/2021 de 20 de mayo (Ley del Cambio Climático): impone determinadas obligaciones en cuanto a la instalación de puntos de recarga en edificios nuevos, con dotaciones mínimas en los edificios no residenciales; establece bonificaciones fiscales en el IBI para los edificios con puntos de recarga.

Fecha	Nombre	Desarrollo
13/04/2021	Real Decreto 266/2021 (Plan Moves III)	Apoyo de 400 M€ para la movilidad eléctrica.
13/04/2021	Real Decreto 265/2021	Modificación de la Reglamentación General sobre Vehículos en la referente a la gestión del final de vida útil de los mismos.
31/03/2021	PNIEC	PNIEC, última actualización 31 de marzo de 2021: recoge la transposición del Paquete de Energía Limpia de la UE, el Acuerdo de París y la Estrategia de la CE para una Europa climáticamente neutra en 2050. El impulso del VE se recoge en la medida 2.4.
01/01/2021	En Europa, a partir de 2021 todos los vehículos eléctricos, híbridos e híbridos enchufables tendrán que montar un avisador acústico.	Con el objetivo de reducir el riesgo de atropello a peatones, con un sonido similar al que emiten los motores de combustión. Con la excepción de que circulen a bajas velocidades.
16/06/2020	Real Decreto 569/2020 (Plan Moves II)	Incentivos a la movilidad eficiente y sostenible, con 100M€. Se complementa con el RD 587/2020.
02/09/2019	Madrid 360 (presentación)	Plan de movilidad que sustituye a Madrid Central, que entrará en vigor el primer semestre de 2020.
08/07/2019	Proyectos singulares I	Orden TEC/752/2019 de 8 de julio: Proyectos singulares, con una línea de 15 M€, para ciudades patrimonio de la Humanidad, municipios con alto índice de contaminación o ubicados en islas, o proyectos de innovación en electromovilidad.
24/04/2019	Plan MUS 2019	Segunda edición del Plan de Movilidad Urbana Sostenible (MUS) de Madrid. Tiene una dotación de 3 M€, y contempla ayudas de hasta 5.500 euros para la compra de un coche eléctrico.

Fecha	Nombre	Desarrollo
15/02/2019	Real Decreto 72/2019 (Plan MOVES)	Plan coordinado por el Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)
11/02/2019	Ley del Cambio Climático y Transición Energética en Baleares	Se prohibirá la venta de vehículos diésel a partir de 2025 y gasolina a partir de 2035 en dicha Comunidad Autónoma.
14/12/2018	Plan MUS 2018	Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Madrid 2018 (Comunidad de Madrid), con el objetivo central de mejorar la accesibilidad de las áreas urbanas y proveer de transporte y movilidad sostenible y de alta calidad hacia, a través y dentro de un área urbana. Agotado en dos días 1.5 millones €
30/11/2018	Madrid Central	Las restricciones se activaron el 30 de noviembre de 2018 para limitar la circulación por el centro de Madrid a los vehículos más contaminantes. Después de un periodo de prueba, a partir del 16 de marzo de 2019 es obligatorio identificar etiquetas ECO, C y B y comienza el periodo sancionador.
05/10/2018	Real Decreto-ley 15/2018, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.	Elimina la figura del sector de carga que se recogía en la Ley del Sector Eléctrico (encargado único de proveer y vender energía eléctrica destinada a la recarga de VE).
30/07/2018	Plan integral de movilidad eléctrica. País Vasco.	Prevé un presupuesto de 494 MM de euros centrado principalmente en la electrificación del transporte público, la creación de una red de puntos de recarga y ayudas a la adquisición de vehículos eléctricos para particulares, empresas y administraciones públicas.
04/07/2018	Plan VEA	Se regula la concesión de ayudas para la adquisición de vehículos eléctricos y la instalación de puntos de recarga.

Fecha	Nombre	Desarrollo
16/01/2018	Plan MOVALT de Infraestructura de Recarga	Se regula la concesión de ayudas a los sistemas de recargas de baterías para vehículos eléctricos, tanto en la modalidad de adquisición directa como de operaciones de financiación por renting.
14/11/2017	Plan MOVALT	El Programa tiene una dotación presupuestaria de 20.000.000 euros, para aplicar a las solicitudes de ayuda para la adquisición de vehículos de energías alternativas.
16/06/2017	Real Decreto 617/2017	Se regula la concesión directa de ayudas para la adquisición de vehículos de energías alternativas, y para la implantación de puntos de recarga de vehículos eléctricos en 2017 (Plan MOVEA 2017).
31/12/2016	Plan de mejora de calidad del aire. Madrid	Incluye actuaciones sobre el parque móvil y la ordenación de sectores clave con alto impacto en los patrones de movilidad en la calidad del aire. Restricciones de entrada al Área central en función de la tecnología de los vehículos y horarios extendidos para los vehículos menos contaminantes dedicados a la distribución urbana de mercancías.
05/09/2016	Supermanzana Poblenou (Barcelona)	
12/12/2014	Real Decreto 1053/2014	Se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y se modifican otras instrucciones técnicas complementarias del mismo.
22/10/2014	Directiva 2014/94/UE del Parlamento	Relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos.

Fecha	Nombre	Desarrollo
28/03/2014	Real Decreto 216/2014	Se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación, en que se encuentra la del Vehículo Eléctrico.
09/05/2011	Real Decreto 647/2011	Se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética.
23/11/2009	Ley 19/2009	De medidas de fomento y agilización procesal del alquiler y de la eficiencia energética de los edificios. Se evita la necesidad de una votación a la hora de instalar un punto de recarga en un garaje comunitario por parte de un vecino.
*23/04/2009	Directiva 2009/33/CE del Parlamento Europeo y del Consejo	Relativa a la promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes.
22/04/2009	Reglamento (CE) No 443/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo	Se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO2 de los vehículos ligeros.

Anexo 2. Resultados económicos detallados (EUR)

Año	Préstamo	Intereses del préstamo	Costos operativos	Asignación de depreciación	Ganancia después de impuestos	Ahorro por autoconsumo	Ganancia acumulada	% amortización
0	0	0	0	0	0	0	-1.200	0.0%
1	422	145	700	190	-1.267	1.707	-765	14.2%
2	435	133	711	190	-1.278	1.699	-352	28.2%
3	448	119	721	190	-1.289	1.690	37	42.1%
4	461	106	732	190	-1.299	1.682	405	55.8%
5	475	92	743	190	-1.310	1.673	750	69.4%
6	489	78	754	190	-1.321	1.665	1.073	82.9%
7	504	63	765	190	-1.333	1.657	1.375	96.2%
8	519	48	777	190	-1.344	1.648	1.656	109.4%
9	535	33	789	190	-1.356	1.640	1.916	122.6%
10	551	17	800	190	-1.368	1.632	2.155	135.7%
11	0	0	812	190	-812	1.624	2.882	147.7%
12	0	0	825	190	-825	1.616	3.584	159.3%
13	0	0	837	190	-837	1.607	4.261	170.5%
14	0	0	849	190	-849	1.599	4.913	181.3%
15	0	0	862	190	-862	1.591	5.541	191.7%
16	0	0	875	190	-875	1.583	6.146	201.7%
17	0	0	888	190	-888	1.576	6.726	211.4%
18	0	0	902	190	-902	1.568	7.283	220.6%
19	0	0	915	190	-915	1.560	7.816	229.4%
20	0	0	929	190	-929	1.552	8.329	237.9%
21	0	0	943	190	-943	1.544	8.815	245.9%
22	0	0	957	190	-957	1.537	9.281	253.7%
23	0	0	971	190	-971	1.529	9.724	261.0%
24	0	0	986	190	-986	1.522	10.146	268.0%
25	0	0	1.001	0	-1.001	1.514	10.546	274.6%
Total	4.840	834	21.044	3.800	-26.718	40.212	10.546	274.6%