



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD Y RENTABILIDAD  
ECONÓMICA DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA  
FLOTANTE EN EL EMBALSE DE SAN JOSÉ  
(CASTRONUÑO, VALLADOLID)

Autor: Lucía Ureta Alegre

Director: Jaime Navarro Ocón

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Diseño y análisis de la viabilidad y rentabilidad económica de una instalación  
fotovoltaica flotante en el embalse de San José (Castronuño, Valladolid)

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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



Fdo.: Lucía Ureta Alegre

Fecha: 15 / 06 / 2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Jaime Navarro Ocón

Fecha: 19/6/2023



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### **1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.**

El autor D. <sup>a</sup> Lucía Ureta Alegre

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

Diseño y análisis de la viabilidad y rentabilidad económica de una instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José (Castronuño, Valladolid),

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2º. Objeto y fines de la cesión.**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### **3º. Condiciones de la cesión y acceso**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### **4º. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 15 de Junio de 2023

**ACEPTA**

Fdo.....



.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD Y RENTABILIDAD ECONÓMICA DE UNA  
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA FLOTANTE EN EL EMBALSE DE SAN JOSÉ  
(CASTRONUÑO, VALLADOLID)

Autor: Lucía Ureta Alegre

Director: Jaime Navarro Ocón

Madrid

# **Agradecimientos**

A Jaime Navarro, por su guía y su paciencia.

A mis padres y a Lara, por estar, siempre.

Y a todos los que me habéis acompañado durante la carrera.

Sin vosotros no habría sido posible.

# **DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD Y RENTABILIDAD ECONÓMICA DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA FLOTANTE EN EL EMBALSE DE SAN JOSÉ (CASTRONUÑO, VALLADOLID)**

**Autor: Ureta Alegre, Lucía.**

Director: Navarro Ocón, Jaime.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Se ha diseñado una instalación fotovoltaica flotante de 1 MWp en el embalse de San José, Castronuño. Se ha realizado el diseño de la instalación, compuesta por 2.225 módulos fotovoltaicos; un análisis económico y de rentabilidad y un estudio del impacto social y medioambiental de la instalación, concluyendo una reducción de las emisiones de  $CO_2$  de 1.428 toneladas. La inversión inicial será de 815.367,91€ y se han calculado los principales KPIs, obteniendo un ROI del 35,77% y un periodo de retorno de la inversión de 11 años. El VAN, de 708.912,20€ para una tasa de interés de 3,8% y el TIR, del 43%, indican que el proyecto es rentable. Se ha obtenido una instalación viable técnicamente, eficiente energéticamente y rentable económicamente que traerá beneficios sociales, medioambientales y económicos a lo largo de su vida útil.

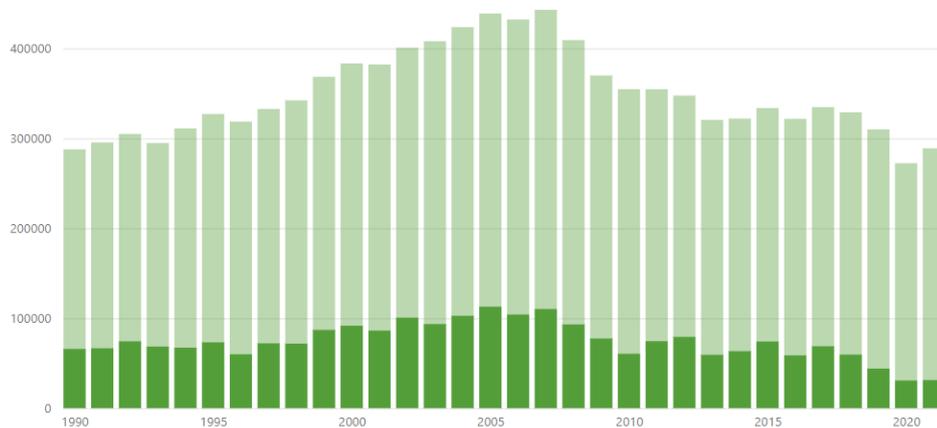
**Palabras clave:** Fotovoltaica, flotante, energía, solar, renovable.

### **1. Introducción**

Las energías renovables son el futuro. Son fuentes de energía limpias, inagotables y que reducen la emisión de contaminantes. En este proyecto se estudiará la energía fotovoltaica flotante, una novedosa alternativa para las placas fotovoltaicas terrestres tradicionales que tiene mucho margen de desarrollo en España, con ventajas como el aumento del rendimiento, la reducción de la evaporación o el consumo mínimo del suelo.

La principal motivación de este proyecto surge de la necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía renovables, que reduzcan la emisión de contaminantes a la atmósfera y contribuyan a reducir el impacto del cambio climático. En el siguiente gráfico se puede

observar la proporción de emisiones de gases de efecto invernadero causados por la generación eléctrica (verde oscuro) frente al total de emisiones anuales (verde claro). De acuerdo con los datos de 2021, el 10,8% de las emisiones de GEI podrían evitarse si se obtuvieran fuentes de electricidad no contaminantes.



*Gráfico 1. Emisiones de GEI (en kt de CO2 equivalente). MITECO [1]1.[1]*

De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030 [2], y el acuerdo de París [3], firmados por la ONU en 2015, España se comprometió a reducir las emisiones de gases contaminantes y el impacto del cambio climático. Así, la energía fotovoltaica flotante se presenta como solución para este problema y se estudiará su viabilidad técnica, rentabilidad económica e impacto de una instalación de estas características en el embalse de San José, en Castronuño (Valladolid).

## **2. Definición del Proyecto**

En este Trabajo se ha realizado el diseño de una instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José, en Castronuño, en la provincia de Valladolid, España.

Los principales objetivos del trabajo son diseñar una instalación fotovoltaica flotante de 1 MWp viable técnicamente y eficiente, que sea rentable y proporcione beneficio económico, y que tenga un impacto social y medioambiental positivo. Se busca por tanto obtener una fuente de energía que permita ofrecer un precio asequible de la energía a la zona de Castronuño para favorecer su economía y que sea renovable, contribuyendo a un futuro libre de emisiones contaminantes.

El esquema de trabajo ha sido el siguiente.

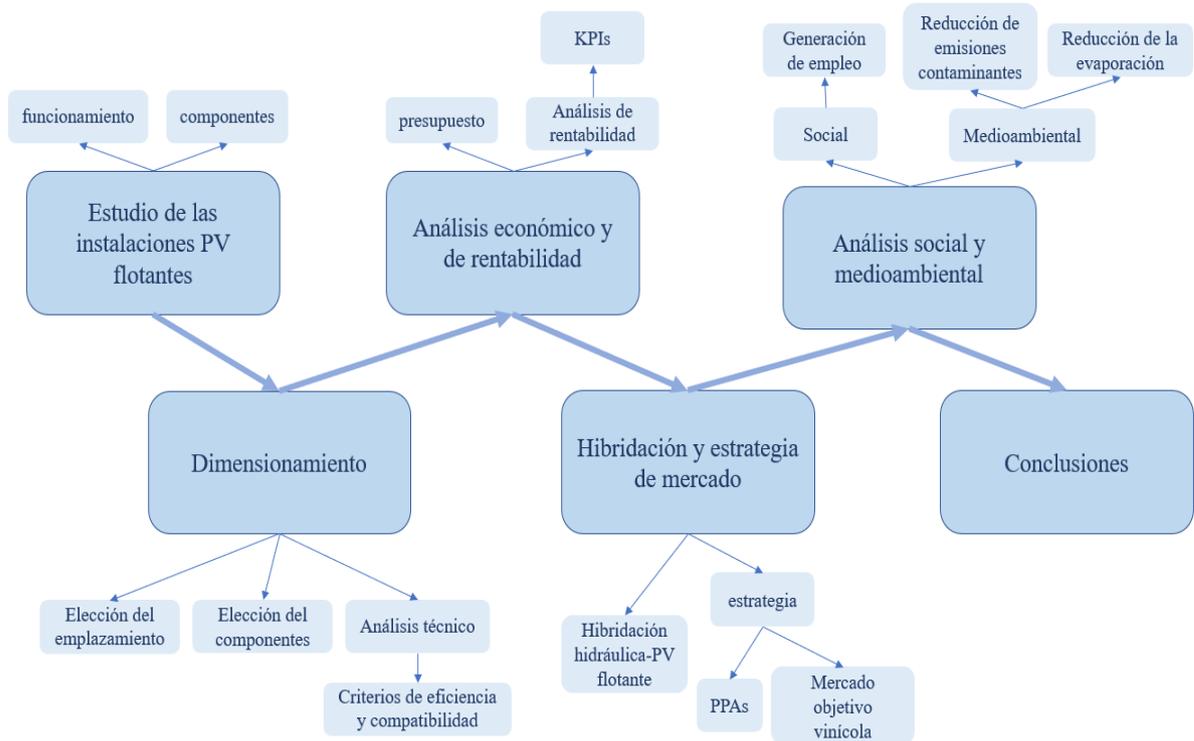
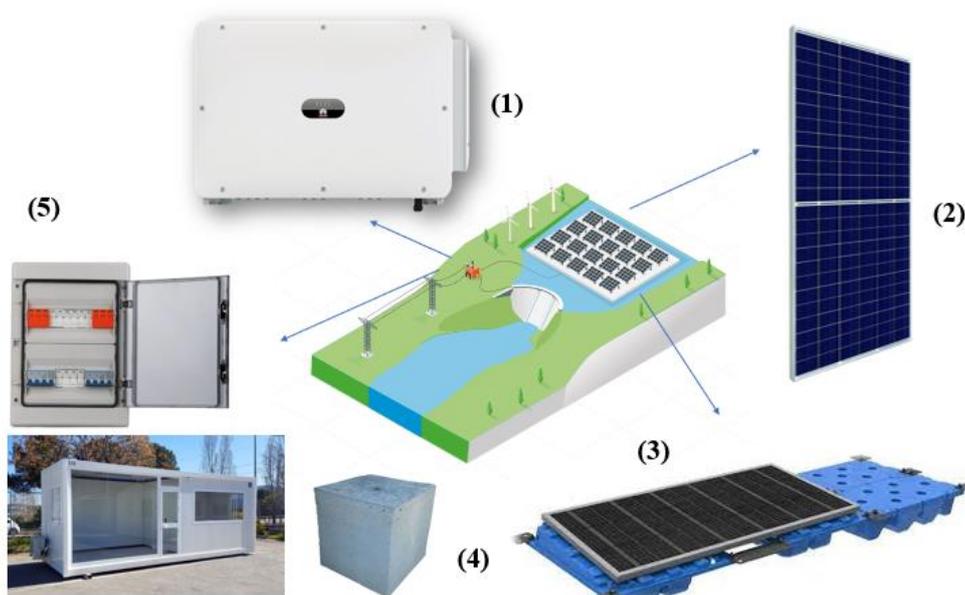


Ilustración 1. Esquema de trabajo.

### 3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

#### 3.1. Descripción del modelo de instalación

La instalación fotovoltaica flotante diseñada en el embalse de San José tiene los siguientes componentes principales.



	COMPONENTE	CANTIDAD
(1)	Inversor trifásico Huawei Sun2000 100 KTL	8
(2)	Módulos fotovoltaico monocristalinos A-450 GS 144 de Atersa	2.223
(3)	Flotadores Isifloating de Isigenere	3.335
(4)	Sistema de anclaje mediante dados de hormigón	55
(5)	Edificación en tierra: caseta de mantenimiento y operaciones, cableado y cajas de agrupación	-

Ilustración 2 – Principales componentes de la instalación

### 3.2. Descripción de las herramientas utilizadas

Una de las herramientas de mayor importancia a la hora de realizar este trabajo ha sido PVGIS-SARAH2 [3]. Se trata de un software de cálculo fotovoltaico que proporciona información acerca de la radiación solar, el rendimiento y la generación fotovoltaica terrestre de un sistema en con unas características y coordenadas introducidas por el usuario.

Otra de las herramientas más utilizadas ha sido Excel. Se trata de un software desarrollado a través de hojas de cálculos con el que se ha realizado el análisis de la información obtenida de bases de datos como PVGIS, Red Eléctrica, Statista o Google Scholar. También se ha utilizado para realizar el análisis económico y financiero de la instalación.

## 4. Resultados

Los resultados técnicos obtenidos de las simulaciones y el análisis de la instalación fotovoltaica flotante son los siguientes.

<b>Potencia instalada (MWp)</b>	1,001 MWh
<b>Generación anual</b>	1.763,953 MWh
<b>Vida útil</b>	25 años

Tabla 1. Resultados técnicos de la instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San

La potencia instalada viene definida por la potencia pico de los 2.223 módulos fotovoltaicos A-450 GS 144 de Atersa y por los 8 inversores trifásicos Sun2000 115KTL de Huawei. La generación anual se ha calculado mediante simulación en PVGIS para una instalación fotovoltaica terrestre con potencia instalada, características y coordenadas definidas para la instalación estudiada en el trabajo. Posteriormente, se ha calculado el valor de una instalación fotovoltaica flotante teniendo en cuenta la diferencia de rendimiento entre estos tipos de instalación. La vida útil de la instalación se ha calculado en función de la vida útil de los paneles fotovoltaicos.

En segundo lugar, se ha realizado un análisis económico del proyecto. Se han tenido en cuenta los siguientes indicadores de rentabilidad o KPIs: LCOE, VAN, TIR, ROI y PRI.

<b>LCOE</b>	<b>VAN</b>	<b>TIR</b>	<b>ROI</b>	<b>Payback</b>
63,69 €/MWh	708.912,20 €	43%	35,77%	11 años

*Tabla 2. Principales KPIs de la instalación.*

Los resultados del análisis de rentabilidad implican que el coste de la energía, un LCOE de 63,69€/MWh, es competitivo en el mercado; que el proyecto es rentable a largo plazo y que se verá reflejado siendo rentable a partir del año 11 desde la inversión inicial.

Además, se ha estudiado la posibilidad de hibridación entre la instalación fotovoltaica flotante, propuesta en este Proyecto, y la existente central hidráulica de la presa de San José. Se ha estudiado la compatibilidad entre ambas fuentes de energía y se han estudiado las ventajas que ofrecen, como manera de estabilizar los picos y valles estacionales en el suministro de energía y como forma de almacenamiento de energía eléctrica, que puede bombearse y almacenarse como potencial en la presa.

La estrategia en el mercado se basa en acuerdos de compraventa energéticos o PPAS y, tras analizar el nicho de mercado, se ha elegido como *target market* o mercado objetivo el sector vinícola, destacando las Asociaciones de Bodegas de Rivera, Rueda y Toro; Ayuntamientos cercanos y el sector de la siderurgia y fundiciones.

Posteriormente, se ha realizado un análisis del impacto social y medioambiental. Los resultados obtenidos son, por un lado, que la instalación será una fuente de creación de empleo, tanto directo como indirecto, con un total estimado de 36 empleos a lo largo de su vida útil. Por el otro lado, la instalación supone una reducción de las emisiones de gases

contaminantes a la atmosfera, evitando la emisión de 1.428,8 toneladas de dióxido de carbono, contribuyendo a frenar el impacto del cambio climático. Además, al cubrir una parte de la superficie del embalse, se reduce la evaporación de agua 3.565.000 litros anuales, contribuyendo a frenar el impacto de la sequía actual en el embalse de San José.

## 5. Conclusiones

- El diseño de la instalación es factible desde el punto de vista técnico y eficiente. La potencia pico alcanzada, de 1 MWp y la generación anual energética estimada por simulación son suficientes para satisfacer la demanda estudiada.
- Los costes por unidad de energía son competitivos en el mercado de la energía fotovoltaica actual, el proyecto es rentable en el plazo y dicha rentabilidad se verá reflejada en beneficios económicos a largo plazo.
- La estrategia en el mercado, basada en PPAs y un mercado objetivo vinícola, ofrece seguridad y estabilidad financiera a nuestro proyecto y beneficia económicamente a la zona de Castronuño.
- La posibilidad de hibridación entre energía fotovoltaica flotante e hidráulica supone un beneficio energético y económico ya que permite estabilizar el suministro energético y almacenar excedentes energéticos.
- La instalación fotovoltaica flotante generará empleo, reducirá la evaporación, contribuyendo a frenar el impacto de la sequía, y será una fuente de energía renovable que reducirá las emisiones de dióxido de carbono y otros gases contaminantes a la atmósfera, reduciendo así el impacto del cambio climático.

Llevar a cabo la instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José supondrá un beneficio energético, económico y medioambiental, como fuente de energía renovable.

Se han cumplido, por tanto, los objetivos de este Trabajo.

## 6. Referencias

- [1] “Sistema Español de inventario de emisiones”, MITECO.  
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/informe-interactivo-inventario-nacional-emisiones.aspx>
- [2] “Objetivos de Desarrollo Sostenible”, Organización de las Naciones Unidas.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- [3] “El Acuerdo de París”, Organización de las Naciones Unidas.  
<https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- [4] PVGIS-SARAH2, “Photovoltaica Geographical Information System”,  
[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

# **DESIGN AND ANALYSIS OF THE VIABILITY AND ECONOMIC PROFITABILITY OF A FLOATING PHOTOVOLTAIC INSTALLATION ON THE SAN JOSÉ RESERVOIR (CASTRONUÑO, VALLADOLID).**

**Author: Ureta Alegre, Lucía.**

Supervisor: Navarro Ocón, Jaime.

Collaborating Entity: ICAI – Comillas Pontifical University

## **ABSTRACT**

A 1 MWp floating photovoltaic installation has been designed on the San José reservoir, in Castronuño. The design of the installation, consisting of 2,225 photovoltaic modules, has been carried out as well as an economic and profitability analysis and a study of the social and environmental impact of the installation, concluding a  $CO_2$  emissions reduction of 1,428 tonnes. The initial investment will be €815,367.91 and the main KPIs have been calculated, obtaining an ROI of 35.77% and a payback period of 11 years. The NPV, €708,912.20 for an interest rate of 3.8% and the IRR, 43%, indicate that the project is profitable. A technically feasible, energy efficient and economically profitable installation has been obtained that will bring social, environmental and economic benefits throughout its lifetime.

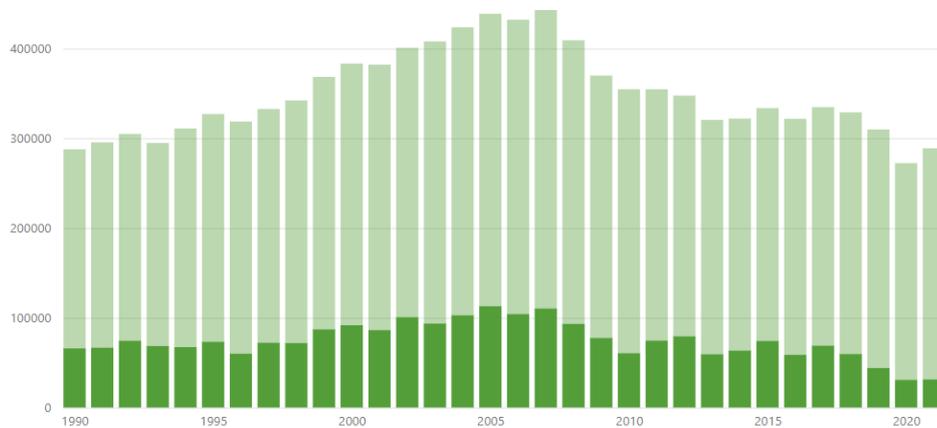
**Keywords:** Photovoltaic, floating, energy, solar, renewable.

## **1. Introduction**

Renewable energies are the future. They are clean, inexhaustible and increasingly developed sources of energy. A study floating photovoltaic energy installation will be studied in photovoltaic Project, a novel alternative to traditional terrestrial photovoltaic panels that has much room for development in Spain, with advantages such as increased performance, reduced evaporation or minimal consumption of soil.

The main motivation for this project arises from the need to find new renewable energy sources that reduce the emission of pollutants into the atmosphere and contribute to reducing the impact of climate change. The following graph shows the proportion of greenhouse gas emissions caused by electricity generation (dark green) compared to total annual emissions

(light green). According to 2021 data, 10.8% of GHG emissions could be avoided if clean electricity sources were obtained.



*Graph 1. Spanish Greenhouse Gas Emissions (kt of equivalent CO2)[1]*

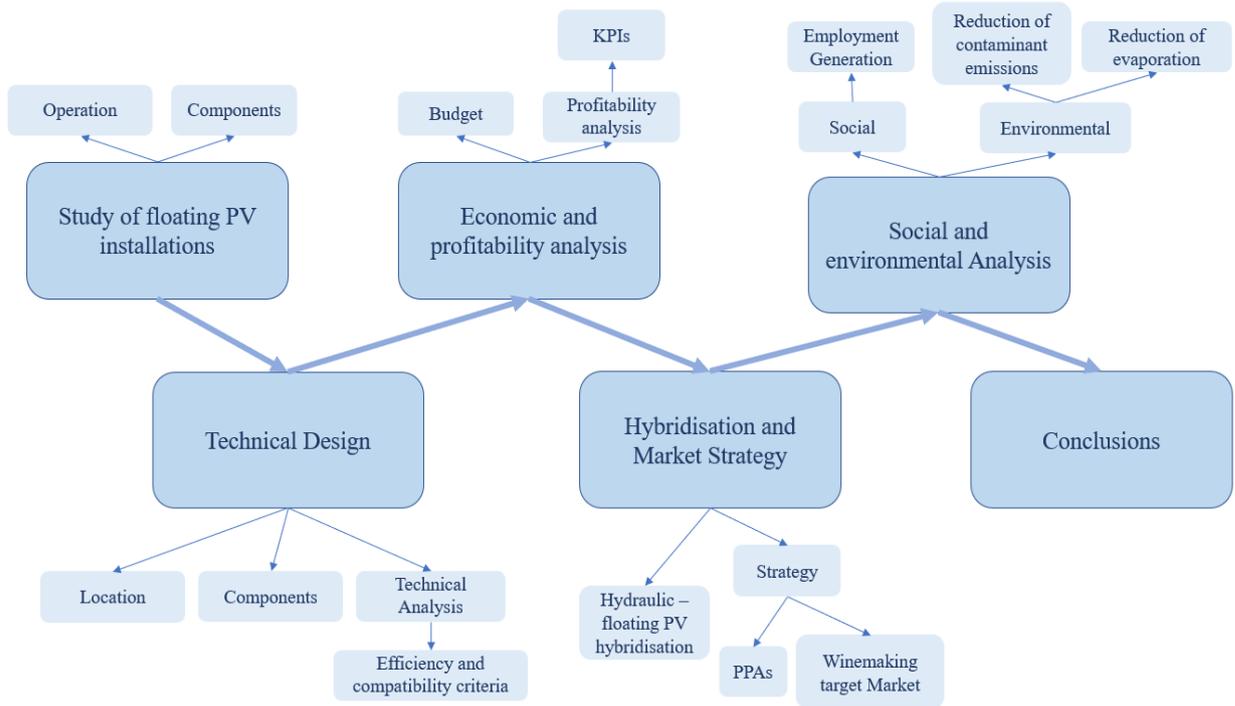
In accordance with the Sustainable Development Goals for 2030 [2] and the Paris Agreement [3] signed by the UN in 2015, Spain has committed to reducing emissions of polluting gases and the impact of climate change. Thus, floating photovoltaic energy is presented as a solution to this problem. The technical feasibility, economic profitability and impact of an installation of these characteristics on the San José reservoir in Castronuño (Valladolid) will be studied.

## **2. Definition of the Project**

In this Project, the design of a floating photovoltaic installation on the San José reservoir in Castronuño, in the province of Valladolid, Spain, has been carried out. The scheme of the project would be the following.

The main objectives of the work are to design a technically feasible and efficient 1MWp floating photovoltaic installation, which is profitable and provides economic benefit, and which has a positive social and environmental impact. Therefore, the aim is to obtain a source of energy that offers an affordable price of energy to the Castronuño area to benefit its economy and that is renewable, contributing to a future free of polluting emissions.

The scheme of the Project is the following.

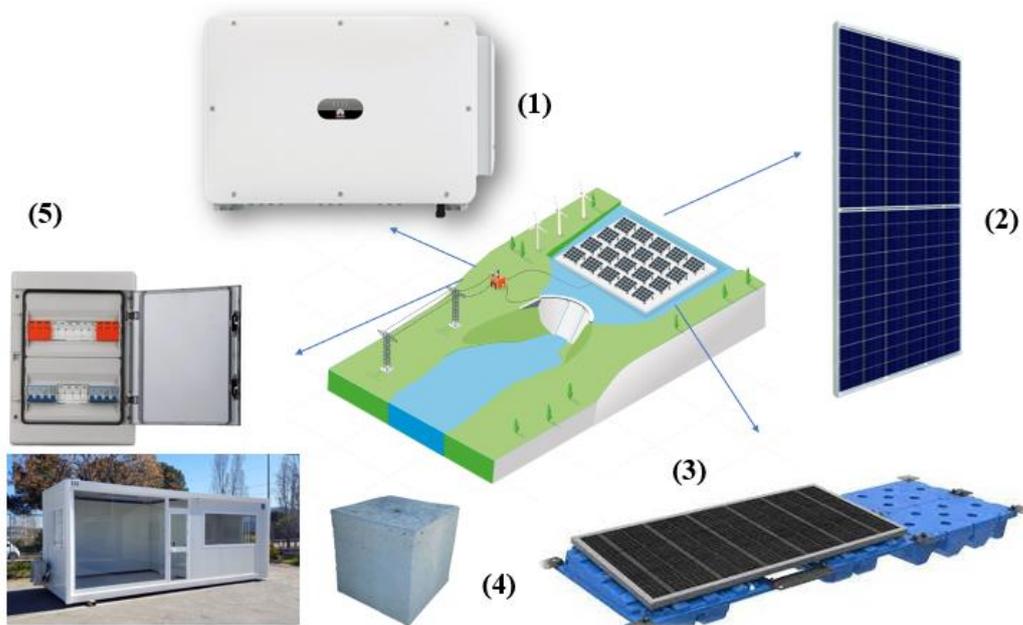


*Illustration 1 Project Scheme.*

### 3. Description of the model/system/tool

#### 3.1. Description of the installation model

The designed floating photovoltaic installation on the San José reservoir has the following main components.



	COMPONENT	QUANTITY
(1)	Huawei Sun2000 100 KTL Three Phase Power Inverter	8
(2)	Atersa A-450 GS 144 monocrystalline PV modules	2.223
(3)	Isifloating floating system (Isigenere)	3.335
(4)	Anchoring system using concrete blocks	55
(5)	Ground building: maintenance and operations hut, cabling and bundling boxes	-

*Illustration 2. Main components of the installation.*

### 3.2. Description of the tools used

One of the most important tools for this work was PVGIS [4]. This is a photovoltaic calculation software that provides information about solar radiation, yield and terrestrial photovoltaic generation of a system with characteristics and coordinates entered by the user.

Another of the most widely used tools has been Excel. This is a software developed through spreadsheets with which the analysis of the information obtained from databases such as PVGIS, Red Eléctrica, Statista or Google Scholar has been carried out. It has also been used to carry out the economic and financial analysis of the installation.

## 4. Results

The technical results obtained from the simulations and the analysis of the floating PV system are the following.

<b>Installed Power (MWp)</b>	1,001 MWh
<b>Annual Generation</b>	1.763,953 MWh
<b>Lifetime</b>	25 years

*Table 1. Technical results of the floating photovoltaic installation on the San José reservoir.*

The installed power is defined by the peak power of the 2,223 A-450 GS 144 photovoltaic modules from Atersa and the 8 three-phase Sun2000 115KTL inverters from Huawei.

The annual generation has been calculated by simulation in PVGIS for a terrestrial photovoltaic installation with installed power, characteristics and coordinates defined for the installation studied in the work. After that, the value of a floating photovoltaic installation's generation was calculated, considering the differences in performance and efficiency between these types of installation.

The lifetime of the installation was calculated based on the lifetime of the photovoltaic panels.

Secondly, an economic analysis of the project was carried out. The following Key Performance Indicators or KPIs have been considered: LCOE, NPV, IRR, ROI and Payback.

LCOE	NPV	IRR	ROI	Payback
63,69 €/MWh	708.912,20 €	43%	35,77%	11 años

*Table 2. Main KPIs of the installation*

The results of the profitability analysis imply that the cost of energy, an LCOE of €63.69/MWh, is competitive in the market; that the project is profitable in the long term and that it will be reflected as profitable from year 11 from the initial investment.

Furthermore, the possibility of hybridization between the floating photovoltaic installation proposed in this project and the existing hydroelectric plant at the San José dam has been studied. The compatibility between both energy sources has been studied and the advantages they offer as a way of stabilizing seasonal peaks and valleys in the energy supply and as a way of storing electrical energy, which can be pumped and stored as potential in the dam, have been studied.

The market strategy is based on energy purchase and sale agreements or PPAS and, after analyzing the market niche, the wine sector has been chosen as the target market, with the wine cellar associations of Rivera, Rueda and Toro; nearby town councils and the iron and steel and foundry sector standing out.

Subsequently, an analysis of the social and environmental impact has been carried out. The results obtained are, on the one hand, that the facility will be a source of job creation, both direct and indirect, with an estimated total of 36 jobs throughout its useful life. On the other hand, the facility will reduce emissions of polluting gases into the atmosphere, avoiding the

emission of 1,428.8 tonnes of carbon dioxide, helping to curb the impact of climate change. In addition, by covering part of the surface of the reservoir, water evaporation is reduced by 3,565,000 liters per year, helping to reduce the impact of the current drought in the San José reservoir.

## 5. Conclusions

- The design of the installation is technically feasible and efficient. The peak power of 1 MWp and the annual energy generation estimated by simulation are sufficient to meet the demand studied.
- The costs per unit of energy are competitive in the current photovoltaic energy market, the project is profitable in the long term and this profitability will be reflected in long-term economic benefits.
- The market strategy, based on PPAs and a wine target market, offers financial security and stability to our project and is economically beneficial to the Castronuño area.
- The possibility of hybridization between floating photovoltaic and hydraulic energy is an energy and economic benefit as it allows the stabilization of the energy supply and the storage of energy surpluses.
- The floating photovoltaic installation will generate employment, reduce evaporation, helping to curb the impact of drought, and will be a source of renewable energy that will reduce emissions of carbon dioxide and other polluting gases into the atmosphere, thus reducing the impact of climate change.

To sum up, carrying out the floating photovoltaic installation on the San José reservoir will bring energy, economic and environmental benefits as a renewable energy source.

Therefore, the objectives of this Project have been met.

## 6. References

- [1] Ministry for the Ecological Transition and Demographic Challenge “Spanish Emissions Inventory System”, <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/informe-interactivo-inventario-nacional-emisiones.aspx>
- [2] United Nations. “Sustainable Development Objectives”, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- [3] United Nations. 7“Paris Agreement”, <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- [4] PVGIS-SARAH2, “Photovoltaic Geographical Information System”, [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

## Índice de la memoria

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>11</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	11
1.2 Estado de la cuestión .....	13
1.3 Objetivos del proyecto.....	15
1.4 Recursos empleados .....	16
<b>Capítulo 2. Estado del arte .....</b>	<b>18</b>
2.1 La radiación solar .....	18
2.1.1 Constante solar.....	19
2.1.2 Irradiación e irradiancia.....	19
2.2 Energía fotovoltaica .....	20
2.2.1 Efecto fotoeléctrico.....	20
2.3 Energía fotovoltaica flotante .....	22
2.3.1 Evolución de la energía fotovoltaica flotante.....	22
2.3.2 Regulación de la energía fotovoltaica flotante en España.....	26
2.3.3 Comparación de la energía fotovoltaica flotante con la terrestre .....	28
2.4 Instalación fotovoltaica flotante en un embalse .....	30
2.4.1 Esquema de una instalación fotovoltaica flotante en un embalse.....	31
2.4.2 Funcionamiento de la instalación fotovoltaica flotante .....	31
2.4.3 Componentes de la instalación fotovoltaica flotante.....	32
<b>Capítulo 3. Dimensionamiento de la instalación .....</b>	<b>42</b>
3.1 Conceptos necesarios para el dimensionamiento de la instalación .....	42
3.1.1 Potencia instalada.....	42
3.1.2 Potencia pico de cada panel.....	43
3.1.3 Factor de escala del inversor.....	43
3.1.4 Pérdidas.....	43
3.1.5 Rendimiento.....	44
3.1.6 Acimut y ángulo de inclinación .....	45
3.2 Elección del emplazamiento.....	47
3.2.1 Análisis climatológico .....	49
3.2.2 Análisis de la irradiancia con PVGIS .....	52

3.3	Dimensionamiento de la instalación.....	56
3.3.1	Módulos fotovoltaicos .....	56
3.3.2	Inversor .....	59
3.3.3	Sistema de Flotación .....	63
3.3.4	Sistema de anclaje.....	64
3.3.5	Características de la Instalación.....	65
<b>Capítulo 4. Justificación del Presupuesto .....</b>		<b>68</b>
4.1	Cálculo del presupuesto inicial.....	68
4.2	Análisis de la Inversión .....	70
4.3	Justificación.....	71
4.3.1	Vida Útil .....	71
4.3.2	Financiación.....	72
4.3.3	Costes de mantenimiento y operación.....	72
<b>Capítulo 5. Estudio de rentabilidad económica.....</b>		<b>74</b>
5.1	Producción energética .....	74
5.1.1	Simulación con PVGIS para una instalación terrestre .....	74
5.1.2	Generación de la instalación fotovoltaica flotante .....	76
5.1.3	Diferencia de producción entre instalación flotante y terrestre.....	77
5.1.4	Pérdidas del sistema.....	78
5.1.5	Pérdida de eficiencia de los módulos .....	78
5.2	Mercado eléctrico Español .....	80
5.3	Rentabilidad.....	81
5.3.1	Precio de Venta .....	81
5.3.2	Cuenta de Pérdidas y ganancias .....	82
5.3.3	LCOE.....	84
5.3.4	VAN .....	86
5.3.5	TIR.....	88
5.3.6	ROI .....	89
5.3.7	Periodo de recuperación de la inversión .....	89
5.4	Posibilidad de Hibridación para el almacenamiento de Energía .....	90
5.4.1	Hibridación para Estabilizar el Suministro .....	91
5.4.2	Hibridación para el almacenamiento de energía.....	93

5.5	Resumen .....	95
<b>Capítulo 6. Entrada en el mercado e impacto social y ambiental.....</b>		<b>97</b>
6.1	Estrategia de Entrada en el Mercado .....	97
6.1.1	Bodegas de Rivera, Rueda y Toro .....	97
6.1.2	Ayuntamientos de Castronuño y Valladolid .....	98
6.1.3	Electro intensivas .....	99
6.2	Emisiones evitadas .....	100
6.3	Reducción de la evaporación.....	100
6.4	Generación de Empleo .....	101
6.5	Resumen .....	103
<b>Capítulo 7. Conclusiones.....</b>		<b>105</b>
7.1	Resumen de las conclusiones .....	108
<b>Capítulo 8. Bibliografía.....</b>		<b>110</b>
<b>ANEXO 118</b>		
8.1	Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	118
8.1.1	El acuerdo de París .....	119
8.2	Ficha técnica de los módulos fotovoltaicos [44] .....	121
8.3	Ficha técnica del Inversor.....	122
8.4	Ficha técnica del Sistema de flotación .....	123
8.5	Estructura de la generación por tecnologías .....	124
8.6	Generación Hidráulica Anual en Castilla y León.....	124
8.7	Simulación del préstamo .....	125

## *Índice de tablas*

Tabla 1. Resultados técnicos de la instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José .....	12
Tabla 2. Principales KPIs de la instalación. ....	13
Tabla 3. Características del embalse de San José [Iagua] .....	49
Tabla 4. Características de la estación de la AEMET de Valladolid. AEMET .....	50
Tabla 5. Tabla de Temperaturas medidas en la estación meteorológica de Valladolid en los años 1981-2010. AEMET.....	51
Tabla 6. Irradiancia global media diaria por horas ( $Wm^2$ ) de 2015-2020. (PVGIS).....	54
Tabla 7. Especificaciones de producto: Módulos A-450 GS 144 de Atersa [44].....	57
Tabla 8 Especificaciones técnicas del inversor Huawei SUN200 100KTL-M1 .....	61
Tabla 9. Protecciones del inversor.....	61
Tabla 10 Parámetros de la Instalación para el análisis de Compatibilidad .....	62
Tabla 11 Comprobación de Compatibilidad entre módulos e inversor .....	63
Tabla 12. Resumen de características de la instalación.....	66
Tabla 13. Presupuesto estimado de inversión. Elaboración propia. ....	68
Tabla 14. Presupuesto estimado para la adquisición de equipos. Elaboración propia. ....	69
Tabla 15. Características del préstamo bancario .....	72
Tabla 16 Diferencia de producción absoluta (MWh) [Gráfico 10] .....	77
Tabla 17 Generación energética anual (MWh).....	79
<i>Tabla 18 Estimación de Pérdidas y Ganancias del Año 1 .....</i>	<i>82</i>
Tabla 19. Estimación de Pérdidas y Ganancias del año XX11 .....	83
Tabla 20 Cálculo del LCOE. Elaboración propia.....	85
Tabla 21 Flujo de caja y cálculo del VAN. Elaboración propia.....	87
Tabla 22. Características de la Central Hidráulica del embalse .....	91
Tabla 23. Estimación de la Generación hidráulica de la Presa de San José. Elaboración propia.....	92
Tabla 24. Generación, demanda, excedente y déficit energético de la fotovoltaica flotante .....	93

---

Tabla 25. Resumen del Análisis de la rentabilidad .....	95
Tabla 26 Emisiones evitadas. Elaboración propia.....	100
Tabla 27 Datos utilizados para el cálculo de la reducción de la Evaporación.....	101
Tabla 28 Desglose de empleos por eslabón de la cadena de valor .....	102
<i>Tabla 29. Resumen</i> .....	103
Tabla 30. Resumen de los principales KPIs. ....	106

## *Índice de ilustraciones*

Ilustración 1. Esquema de trabajo.....	11
Ilustración 2 – Principales componentes de la instalación .....	12
Ilustración 3 Tipos de radiación solar. Fuente: Hogarsense. [5][1] .....	18
Ilustración 4 Funcionamiento de células fotovoltaica. (Revista energías renovables). [7].	21
Ilustración 5 Instalación fotovoltaica flotante en Dezhou, China. (Huaneng Power International) .....	23
Ilustración 6.Instalación fotovoltaica flotante en Lorca, Murcia. Esfera Solar. ....	25
Ilustración 7 Fragmento de la propuesta de Real Decreto (MITECO).....	27
Ilustración 8. Esquema de instalación fotovoltaica aislada. Selectra. [27].....	30
Ilustración 9 Esquema de funcionamiento de una central fotovoltaica flotante conectada a red en un embalse. Iberdrola. [28].....	31
Ilustración 10 Esquema de los componentes de una unidad de un sistema fotovoltaico flotante. Intergia.[30].....	34
Ilustración 11 Tipos de anclaje en una instalación fotovoltaica flotante. (Iberdrola) [6]....	35
Ilustración 12 Conexión del regulador de carga. (Área Tecnología)[35].....	39
Ilustración 13 Representación del Acimut y ángulo de inclinación. (Sunfields). [40].....	45
Ilustración 14. Distribución porcentual de la energía solar fotovoltaica generada en España en 2022 (Statista).....	47
Ilustración 15. Ubicación de la Instalación. Google Earth. ....	48
Ilustración 16.Ubicación del Embalse de San José. Google Earth.....	48
Ilustración 17. Distancia de la estación de la AEMET de Valladolid al embalse de San José. Google Earth.....	50
Ilustración 18. Datos de radiación solar de España. ADRASE. [42] .....	52
Ilustración 19 Módulos monocristalinos A-450 GS 144 de Atersa [43] .....	56
Ilustración 20 Cálculo de distancia entre paneles solares Monosolar .....	58
Ilustración 21 Inversor Huawei SUN200 100KTL.....	59
Ilustración 22. Sistema Isifloating. Isigenere. ....	64
Ilustración 23. Sistema de anclaje de la planta de Acciona en Sierra Brava [48] .....	65

---

Ilustración 24 Resultados de la simulación con PVGIS .....	75
Ilustración 25 Generación de una instalación fotovoltaica terrestre en las coordenadas del embalse de San José. PVGIS. ....	75
Ilustración 26 Diagrama de Sankey de pérdidas de una instalación fotovoltaica. Elaboración propia. Datos obtenidos de simulación con PVGIS. ....	78
Ilustración 27 Esquema de hibridación entre central hidráulica y fotovoltaica. [59].....	90
Ilustración 28 Cadena de Valor [49].....	102
Ilustración 29. ONU (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030 .....	118

## *Índice de gráficos*

Gráfico 1. Emisiones de GEI (en kt de CO2 equivalente). MITECO [1]1.[1] .....	1
Gráfico 2. Porcentaje de electricidad proveniente de energías renovables en España de 2008 a 2021. REE. [1] .....	13
Gráfico 3. Adaptado de MITECO (2023). Distribución de emisiones brutas de GEI en 2021 por sectores y por tipo de gas.[2].....	14
Gráfico 4.Potencia solar fotovoltaica instalada en España de 2010 a 2022 (MW). (Statista) [13] .....	24
Gráfico 5. Diferencias de producción en una instalación de 100kW y de 500kW .....	29
Gráfico 6.Tipos de ondas en un inversor. Autosolar .....	37
Gráfico 7. Representación de la Irradiancia global media diaria por horas W/m <sup>2</sup> de 2015-2020 .....	55
Gráfico 8. Distribución de los Costes de Inversión .....	71
Gráfico 9. Generación mensual de la instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José. ....	76
Gráfico 10. Diferencia de generación entre la fotovoltaica terrestre y flotante .....	77
Gráfico 11.Precio del Mercado Eléctrico en España Modificado de Datos Macro.[54] .....	80
Gráfico 12. Evolución de los costes, ingresos y flujo de cargas actualizados del proyecto (€) .....	88
Gráfico 13.Generación tras la hibridación en el embalse de San José .....	92
Gráfico 14. Generación, demanda, excedente y déficit energético de la fotovoltaica flotante .....	94

## *Índice de anexos*

Anexo 1. Especificaciones de producto: módulos fotovoltaicos A-450M GS 144 de Atersa .....	121
Anexo 2. Ficha técnica de producto: Inversor Huawei SUN2000 100 KTL.....	122
Anexo 3. Especificaciones de producto de Isifloating de Isigenera .....	123
Anexo 4. Estructura de la generación por tecnologías (MWh). Statista.....	124
Anexo 5. Fragmento Resumen Anual Generación Hidráulica en Castilla y León. [61] ...	124
Anexo 6. Simulación del préstamo bancario .....	129

# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

Las energías renovables son el futuro. Son fuentes de energía limpias, inagotables y cada vez más desarrolladas. Serán las encargadas de reducir el impacto que la actividad humana deja sobre la tierra; de solucionar problemas ambientales como el cambio climático, los residuos radiactivos y la contaminación; y la alternativa ante el agotamiento de los combustibles fósiles, el petróleo, el gas natural o el carbón.

En este proyecto se estudiará la energía fotovoltaica flotante cuyo sistema de obtención de energía solar se basa en el aprovechamiento de la radiación del Sol mediante el efecto fotovoltaico. Este tipo de fuente de energía renovable, es una novedosa alternativa para las placas fotovoltaicas terrestres tradicionales cuya principal diferencia es que los módulos flotantes se sitúan sobre grandes masas de agua y que presenta múltiples ventajas como un consumo mínimo de suelo, reducción de la evaporación o un mayor rendimiento.

La instalación fotovoltaica flotante presentada en este trabajo se llevará a cabo en el embalse de San José, en Castronuño, en la provincia de Valladolid, Castilla y León, en España, que está situado en el curso medio del Río Duero.

### ***1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

La motivación de este proyecto surge en primer lugar de la necesidad de encontrar una solución al creciente impacto de las fuentes de energía contaminantes en el medio ambiente, la economía y la salud de las personas. La emisión de gases contaminantes durante la obtención de energía contribuye al crecimiento del impacto del cambio climático y la contaminación atmosférica por lo que es necesario encontrar nuevas fuentes que reduzcan dicho impacto.

Además, el contexto internacional, marcado por la Guerra de Ucrania, el aumento de la demanda energética y el creciente precio del gas hacen necesario encontrar nuevas fuentes de energía para satisfacer la demanda energética a menor precio.

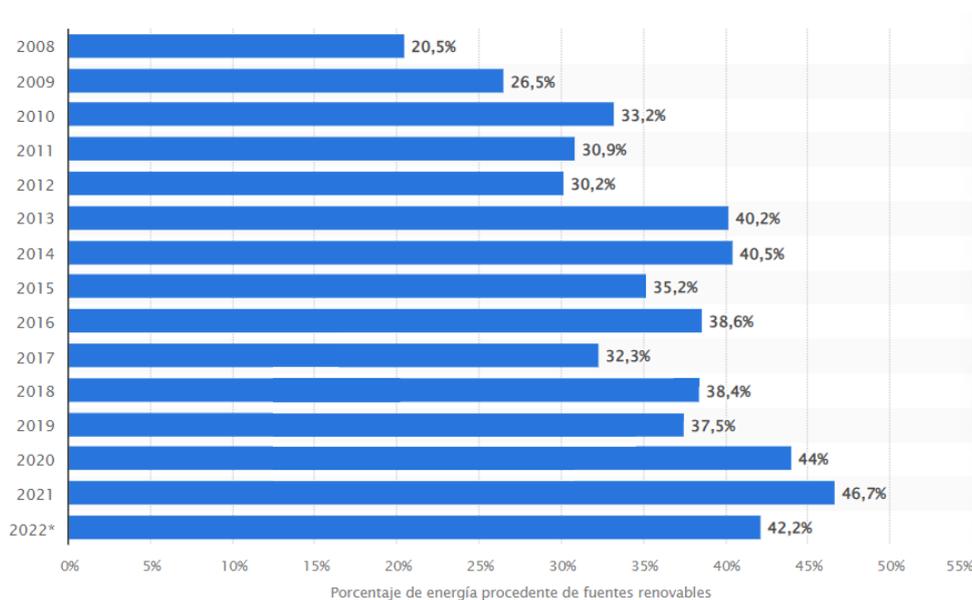
Este proyecto captó inicialmente mi atención, cuando aún no sabía nada de módulos fotovoltaicos flotantes, por ser un proyecto de energías renovables innovador, con mucho margen de desarrollo en España. En nuestro país se han llevado a cabo muy pocos proyectos que incluyan esta tecnología y, con sus recursos, clima y horas de luz, y sus profesionales, es un escenario donde las placas fotovoltaicas flotantes podrían desarrollarse en gran medida y aportar numerosos beneficios tanto al medio ambiente, contribuyendo tanto a frenar el cambio climático, como a la economía.

Además, el embalse de San José, sobre el que se trabaja en este proyecto, está situado en Valladolid por lo que parte de mi motivación proviene de mis lazos familiares con esta zona. En esta provincia, especialmente en los municipios rurales y en la industria, destacando la vinícola y siderurgia, se ha sufrido el impacto de creciente aumento del precio de la electricidad. Se busca, por tanto, poder ofrecer un precio de la energía menor al del mercado como forma de contribuir a la economía de la zona y, consecuentemente, de nuestro país.

Es por ello que este proyecto surge de mi interés por la ingeniería y la tecnología, y por mi idea de que deben ser herramientas de mejora, de optimización y de contribución al desarrollo mundo.

## 1.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

El uso de energías renovables en España ha ido aumentando a lo largo del tiempo. En el siguiente gráfico [Gráfico 2] se puede observar cómo el porcentaje de electricidad proveniente de energías renovables en España ha aumentado de un 20,5% en 2008 a un 46,7% en 2021.

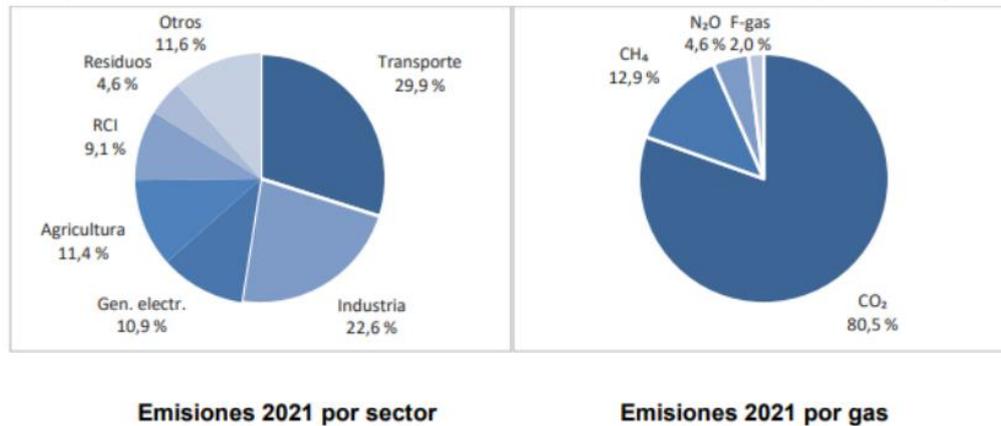


*Gráfico 2. Porcentaje de electricidad proveniente de energías renovables en España de 2008 a 2021. REE. [1]*

Sin embargo, este aumento no es suficiente y es necesario que siga creciendo para poder cumplir el acuerdo de París (2015) en el cual España se comprometió a reducir el impacto climático.

De acuerdo con el informe de inventario nacional de emisiones del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [Gráfico 3], en España el porcentaje de emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidos por la obtención de energía fue del 10,3% en 2021, siendo el CO<sub>2</sub> el gas más emitido. Es decir, más del 10% de estos gases se podrían evitar si dicha energía se obtuviera mediante fuentes renovables. Por ello, es necesario buscar una solución rentable y viable a este problema.

*Figura 2. Distribución de emisiones brutas de GEI en 2021 por sectores y por tipo de gas*



*Gráfico 3. Adaptado de MITECO (2023). Distribución de emisiones brutas de GEI en 2021 por sectores y por tipo de gas.[2]*

La solución que se plantea en este trabajo, sería utilizar como fuente de energía la fotovoltaica, que transforma la radiación electromagnética emitida por el sol en energía eléctrica. Tradicionalmente, se han situado los paneles fotovoltaicos en España sobre terrenos; sin embargo, en este trabajo se propone la instalación de paneles fotovoltaicos flotantes sobre una masa de agua, en este caso, un embalse.

Por ser un proyecto que analiza una fuente de energía renovable poco desarrollada en España, con el objetivo de reducir la emisión de gases contaminantes y por tanto, el impacto del cambio climático, este proyecto está alineado con los Objetivos de desarrollo Sostenible para 2030 [3], firmado en 2015 por la ONU, principalmente con la dimensión ecológica. Entre dichos objetivos destacan el número 13, La Acción por el Clima, para reducir las emisiones de gases contaminantes; o el número 7, Energía Asequible y No Contaminante para Todos. [Anexo I. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)] También está alineado con el Acuerdo de París, 2015 [Anexo I.I. El acuerdo de París], en el cual España se comprometió a tomar medidas para limitar el calentamiento global.[4]

### ***1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO***

Los principales objetivos del trabajo son diseñar una instalación fotovoltaica flotante de 1MWp factible técnicamente y eficiente, que sea rentable y proporcione beneficio económico, y que tenga un impacto social y medioambiental positivo.

Para lograr el objetivo de la viabilidad técnica de la instalación, se seleccionarán los componentes siguiendo unos criterios de eficiencia y rendimiento y se analizará la compatibilidad de los componentes, así como que cumplen los requerimientos para satisfacer la demanda.

El objetivo de la rentabilidad económica del proyecto se analizará mediante indicadores de rentabilidad o KPIs. Se buscará un coste de la energía competitivo en el mercado, una rentabilidad y un beneficio económico a lo largo de la vida útil del proyecto.

Dentro del objetivo del impacto social y medioambiental positivo se incluye la creación de empleo, la reducción de la evaporación y la reducción de gases contaminantes.

Se busca, por tanto, obtener una fuente de energía rentable que permita ofrecer un precio asequible de la energía a la zona de Castronuño para favorecer su economía y que sea renovable, contribuyendo a un futuro libre de emisiones contaminantes.

## ***1.4 RECURSOS EMPLEADOS***

El principal recurso que se utilizará en este trabajo serán distintas fuentes de información. A la hora de elegir las, se prestará especial atención a que sean fiables, actualizadas y relevantes.

La base sobre la que se comienza a realizar este TFG son los conocimientos adquiridos durante los años de estudio en la Universidad Pontificia de Comillas. Por un lado, se emplearán los conocimientos relacionados con el diseño técnico de la instalación fotovoltaica flotante adquiridos en el grado de Ingeniería Industrial; y, por otro lado, se realizará el análisis de la viabilidad y rentabilidad del proyecto basándose en la Administración de empresas.

Entre las principales fuentes de información utilizadas están Google Scholar, que da acceso a una gran cantidad de trabajos de información, páginas web de organismos oficiales y otros recursos bibliográficos. Además, se utilizarán fuentes oficiales de datos estadísticos como Statista, Eurostat o el INE. Todas las fuentes de información se encuentran citadas en la bibliografía.

Una de las herramientas de mayor importancia a la hora de realizar este trabajo ha sido PVGIS-SARAH2. Se trata de un software de cálculo fotovoltaico que proporciona información acerca de la radiación solar, el rendimiento y la generación fotovoltaica terrestre de un sistema en con unas características y coordenadas introducidas por el usuario.

Otra de las herramientas más utilizadas ha sido Excel. Se trata de un software desarrollado a través de hojas de cálculos con el que se ha realizado el análisis de la información obtenida de bases de datos como PVGIS, Red Eléctrica o Statista. También se ha utilizado para realizar el análisis económico y financiero de la instalación.

## **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE**

## Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 LA RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la energía emitida por el sol a través de ondas electromagnéticas. El Sol es la estrella central de nuestro sistema solar y su temperatura media es de 5,727°C. En su interior se producen reacciones de fusión nuclear que liberan energía al exterior.

La radiación solar que recibe la Tierra es del orden de  $1,5 \times 10^{18}$  Kwh (kilovatios hora). Dicha radiación, sufre una atenuación al atravesar la capa atmosférica y llega a la superficie terrestre aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$

En función de cómo incide sobre la Tierra, hay tres tipos de radiación [5]:

- Directa: Es la mayor de las tres. La trayectoria de los rayos alcanza la superficie terrestre sin sufrir ninguna desviación al atravesar la atmosfera.
- Difusa: sufre cambios en su dirección principal por la reflexión y difusión en la atmosfera. Su valor depende del ángulo con el que incide
- Albedo o reflejada: reflexión producida por aquella fracción de radiación solar que se refleja en la superficie terrestre

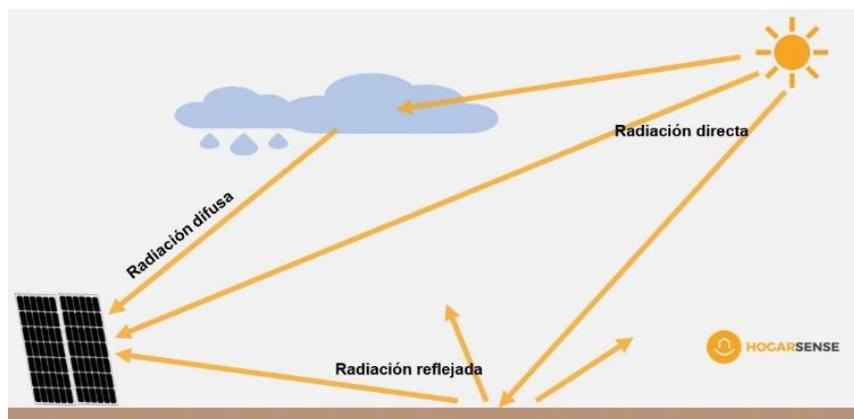


Ilustración 3 Tipos de radiación solar. Fuente: Hogarsense. [5]

La radiación total es la suma de las tres tal que:

$$\text{Ecuación 1} \quad \text{Radiación total} = \text{Radiación Directa} + \text{Radiación Difusa} + \text{Radiación de albedo}$$

### **2.1.1 CONSTANTE SOLAR**

Se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo que se alcanza sobre una superficie. Depende de los efectos de atenuación en la atmosfera y de muchos factores como la nubosidad o las horas de luz.

En este trabajo, se considerará de un valor de 1 kilovatio por metro cuadrado ( $\frac{kW}{m^2}$ ) para cálculos relacionados con las características de los módulos fotovoltaicos.

### **2.1.2 IRRADIACIÓN E IRRADIANCIA**

Son las unidades que se utilizan para medir la radiación solar.

La irradiancia es el flujo de radiación solar que incide sobre una superficie en un tiempo dado. Se expresa en vatios por metro cuadrado ( $\frac{W}{m^2}$ )

La irradiación es energía por unidad de superficie a lo largo de un largo periodo de tiempo. Se expresa en julios (energía) por metro cuadrado ( $\frac{J}{m^2}$ ) o vatios hora (energía) por metro cuadrado ( $\frac{Wh}{m^2}$ ).

## **2.2 ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

La energía solar fotovoltaica es una de las principales fuentes de energía renovable del mundo, junto con la eólica. Consiste en transformar la radiación del Sol en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico.

### **2.2.1 EFECTO FOTOELÉCTRICO**

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por parte de un material conductor al incidir sobre él la radiación solar y se utiliza para la obtención directa de electricidad a partir de la luz del Sol.

#### **2.2.1.1 Historia del efecto fotoeléctrico**

Este fenómeno fue descubierto por el físico Antoine Becquerel en 1839. [6] Becquerel experimentaba con una pila electrolítica con electrodos de platino y observó el incremento de corriente que causaba la exposición a la luz a uno de los electrodos.

Posteriormente, en 1883, el inventor estadounidense Charles Fritts construyó la primera célula solar, con una eficiencia del 1%. Y en 1905, el alemán Albert Einstein explicó por primera vez el efecto fotoeléctrico en un artículo.

Desde entonces y hasta la actualidad, la energía fotovoltaica ha sufrido una gran evolución.

#### **2.2.1.2 Explicación del efecto fotoeléctrico.**

Las células fotovoltaicas son capaces de absorber la luz solar y transformar dicha energía radiante en energía eléctrica. El material predominante utilizado para fabricar dichas células es el silicio.

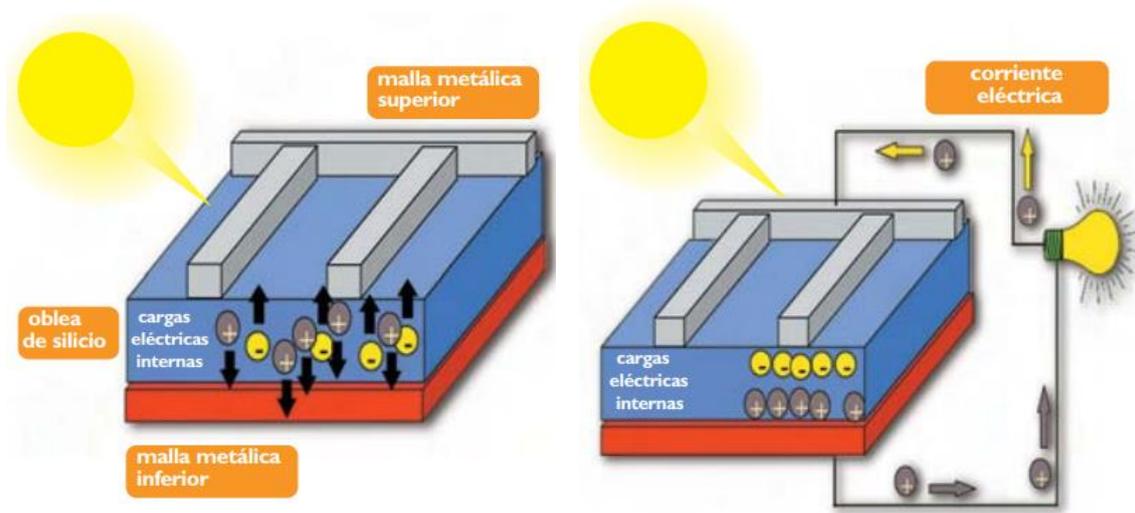


Ilustración 4 Funcionamiento de células fotovoltaica. (Revista energías renovables). [7]

Al incidir la luz solar sobre la oblea de silicio, que ha sido previamente tratada, se liberan las cargas positivas en una dirección, y las negativas en otra [Ilustración 4]. La diferencia de potencial eléctrico genera un flujo de electrones y, al cerrarse el circuito, se genera una corriente eléctrica. [7]

## **2.3 ENERGÍA FOTOVOLTAICA FLOTANTE**

La energía fotovoltaica se presenta en este trabajo de fin de grado como una fuente de energía renovable capaz de acabar con el impacto medioambiental que tienen las fuentes de energía contaminantes, transformando la radiación solar que llega a la Tierra a través de módulos en electricidad.

Convencionalmente, dichos módulos solares se han situado en medios terrestres. Sin embargo, en este trabajo se estudiará una instalación fotovoltaica flotante, situada en una masa de agua, en este caso un embalse.

### **2.3.1 EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA FLOTANTE**

El primer sistema fotovoltaico flotante se llevó a cabo en 2007 en Aichi, Japón con fines de investigación y demostración. Poco después, en 2008, se construyó la primera instalación comercial en la bodega Far Niente, en California según el informe del Banco Mundial “*Where the Sun meets water*”. Desde entonces, su uso ha ido aumentando a un ritmo acelerado en distintos países del mundo como China, EEUU o Francia, apareciendo las primeras instalaciones flotantes medianas y grandes, es decir, de más de 1MWp en 2013. [8]

En la actualidad, la energía fotovoltaica flotante es una fuente renovable cada vez más utilizada.

#### **2.3.1.1 Contexto internacional**

Desde la construcción del primer sistema fotovoltaico en 2007, el número de instalaciones ha ido aumentando y cada vez son más los países que apuestan por esta fuente de energía renovable.

A finales de 2021 existían más de 100 instalaciones fotovoltaicas en el mundo con una potencia instalada mayor de 3 GB. Actualmente, la mayor instalación fotovoltaica flotante del mundo se encuentra en Dezhou en la provincia de Shandong, China, construida por Huaneng Power International (HPI) [Ilustración 5]. Tiene una capacidad de 320 MW y forma

parte de un proyecto que combina generación de energía fotovoltaica y eólica, generando alrededor de 550 millones de kWh de electricidad al año. [9]



*Ilustración 5 Instalación fotovoltaica flotante en Dezhou, China. (Huaneng Power International)*

Le siguen en el ranking de mayores instalaciones fotovoltaicas flotantes: Three Gorges (150MW) y CECEP (70MW), ambas situadas también en China; Sembcorp (60MW) en Singapur; y Sirindhorn Dam (45MW) en Tailandia. [10]

En Europa, el mayor parque solar flotante en un embalse se sitúa en el embalse de Alqueva, Portugal. Fue inaugurado en 2020, tras una inversión de 6 millones de euros y consta de 12.000 paneles flotantes. Tiene una potencia instalada de 5MW y capacidad para producir cerca de 7,5 GWh al año, suficiente para abastecer a más del 30% de familias de la región sur de Portugal (Portel y Moura). [11]

La segunda instalación más grande de Europa se sitúa en Piolenc, al sureste de Francia. La instalación tiene una capacidad de 17MW y puede producir alrededor de 24GWh al año. El proyecto, llamado O'MEGA 1, data de 2019 y la instalación consta de más de 470,000 paneles solares. [12]

### 2.3.1.2 Contexto nacional

España es uno de los países con más horas de luz de Europa, alrededor de 2.000 horas anuales. Además, tiene el mayor número de embalses de Europa, 1.225, según el Inventario de Empresas y Embalses del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Estas características, junto con sus profesionales y conocimientos hacen de nuestro país el lugar idóneo para el desarrollo de instalaciones fotovoltaicas.

La cantidad de energía obtenida de esta fuente ha experimentado un gran aumento en los últimos años, alcanzando una potencia instalada de 19.785 MW en 2022, como se puede observar en el siguiente gráfico.

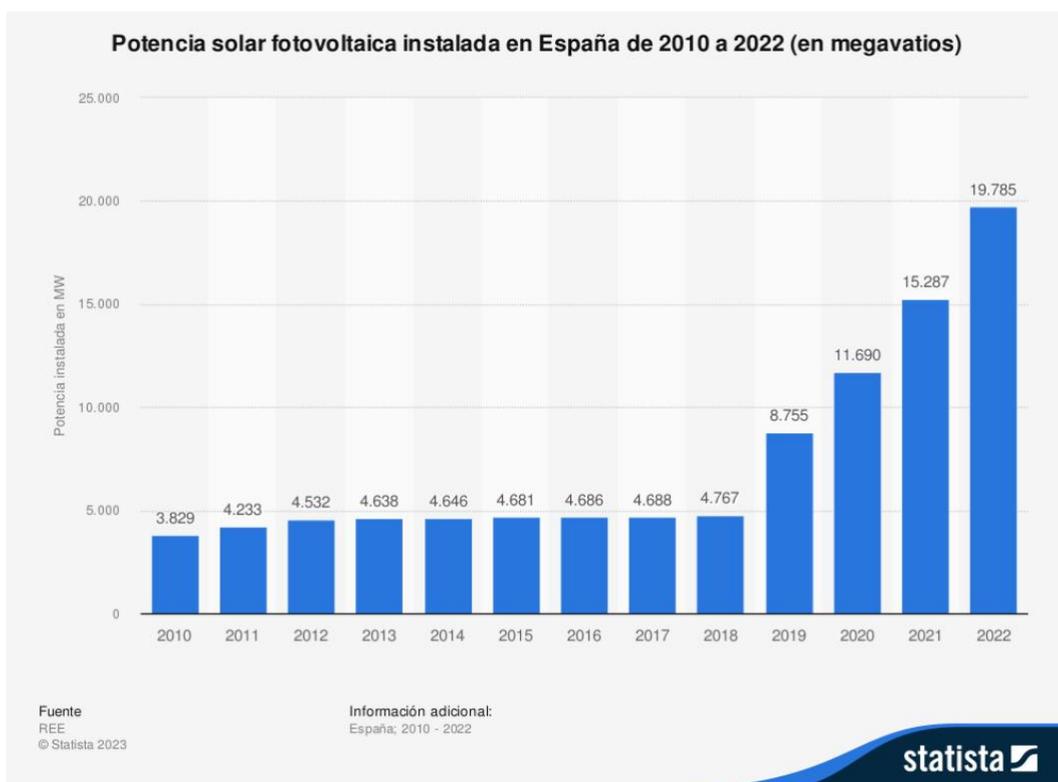


Gráfico 4. Potencia solar fotovoltaica instalada en España de 2010 a 2022 (MW). (Statista) [13]

Por otro lado, un incremento en el uso de la producción de energía fotovoltaica facilitaría la consecución de los objetivos de la Ley de cambio climático y transición energética, por la

cual se pretende alcanzar un 42% de aumento de energías renovables en el consumo final, así como un sistema eléctrico con un 74% de generación de energía renovable en 2030.

Sin embargo, y a pesar de sus características óptimas, del desarrollo de la energía fotovoltaica y de los beneficios que aportaría, España se mantiene en una posición discreta, casi inexistente, en el desarrollo de instalaciones fotovoltaicas flotantes, que aumentarían considerablemente la cantidad de energía obtenida.

Los proyectos de fotovoltaica flotante llevados a cabo en España son recientes, o están aún en proceso, su número es muy bajo, y sus dimensiones y potencia instalada, o capacidad de generación, son muy limitadas en comparación con el resto del mundo.

La primera instalación fotovoltaica flotante de España se llevó a cabo en Lorca, Murcia, en 2017 por la empresa Esfera Solar. [Ilustración 6] Cuenta con 620 módulos fotovoltaicos y una potencia pico de 161 kWp. [14]



*Ilustración 6. Instalación fotovoltaica flotante en Lorca, Murcia. Esfera Solar.*

Además, Cortijo Guadiana instaló en 2022 en Úbeda, Jaén la mayor planta de fotovoltaica flotante para el autoconsumo de Andalucía, con 2.120 módulos fotovoltaicos y una potencia de 1 megavatio. [15]

Sin embargo, la primera instalación fotovoltaica flotante conectada a red no se construyó hasta 2020. Fue llevada por Acciona en la planta de Sierra Brava, en Zorita, Cáceres y cuenta con 3000 módulos fotovoltaicos que proveen una potencia de 1,125 MW, suficiente para abastecer de energía agro voltaica a la región. [16]

Como se puede observar, la diferencia de generación entre las mayores instalaciones fotovoltaicas flotantes de España y del mundo es muy elevada por lo que debería reducirse, aumentando el desarrollo de este tipo de proyectos. Un incremento en la producción de energía fotovoltaica flotante en España supondría beneficios económicos, sociales y medioambientales.

### **2.3.2 REGULACIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA FLOTANTE EN ESPAÑA**

La regulación de las instalaciones fotovoltaicas flotantes actualmente en España es muy reducida.

El Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) ha puesto en marcha el desarrollo de la regulación de plantas fotovoltaicas en dominio público hidráulico del Estado. Para ello, se han establecido una serie de requisitos para llevar a cabo un proyecto de energía solar flotante, detallado en su propuesta de real decreto presentada a información pública por el MITECO. Su intención es explorar la instalación de este tipo de plantas en numerosos embalses e infraestructuras estatales mediante concesiones de explotación durante un periodo máximo de 25 años. [17]

La propuesta de Real decreto incluye anexa una lista de embalses de titularidad estatal en la que se detallan su estado trófico, un índice de medición de la calidad del agua en función de su productividad biológica; una estimación de la superficie útil total; y una estimación de superficie potencial de la instalación. Además, se imponen ciertas limitaciones de porcentaje máximo de superficie total cubierta en función de su grado trófico y no se permiten instalaciones en embalses oligotróficos, es decir, que tenga buena calidad de agua o sean lagos y lagunas de origen natural.

**ANEXO I. LISTADO DE EMBALSES DE TITULARIDAD ESTATAL, ESTADO TRÓFICO Y ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE ÚTIL TOTAL**

NOM_DEMARCACION	NOMBRE MASA DE AGUA (EMBALSE_ID)	GRADO TRÓFICO	SUPERFICIE UTIL TOTAL DEL EMBALSE - 1ª ESTIMACIÓN (ha)	SUPERFICIE POTENCIAL INSTALACIÓN FV - 1ª ESTIMACION (ha)
DUERO	Embalse de San José	Eutrófico	90,2	13,5
DUERO	Azud de Riobos	Eutrófico	265,9	39,9
DUERO	Embalses de Castro de las Cogotas y Fuentes Claras	Eutrófico	269,5	40,4
EBRO	Embalse de Moneva	Eutrófico	52,0	7,8

*Ilustración 7 Fragmento de la propuesta de Real Decreto (MITECO)*

Dado que las especificaciones para instalaciones fotovoltaicas flotantes son muy reducidas, se seguirá la regulación para instalaciones fotovoltaicas, recogidas en la ley 24/2013 (RD 1955/2000).

La regulación española diferencia entre instalaciones de autoconsumo o centrales fotovoltaicas y, dentro de las centrales, distingue entre centrales cuya potencia es menor de 100 kW, recogidas en el RD 1699/2011 o con potencia mayor a 100 kW, recogidas en el RD 1183/2020. Debido a que la instalación diseñada en este trabajo será de grandes dimensiones y su potencia será mayor de 100 kW, seguiremos el RD 1183/2020.

Las normas principales por las que se regirá nuestra instalación serán: [18]

- RDL 23/2020: aprueba medidas tanto en materia de energía como en otros ámbitos con el objetivo de reactivar la economía. [19]
- RD 413/2014: regula la producción de energía eléctrica proveniente de fuentes de energía renovables. [20]
- RD 1183/2020: regula el acceso y conexión a las redes de transporte y la distribución de energía eléctrica.[21]
- Circular 1/2021 de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia: establece la metodología y condiciones del acceso y conexión a redes de transporte y distribución de las instalaciones de producción de energía.[22]

### **2.3.3 COMPARACIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA FLOTANTE CON LA TERRESTRE**

Los paneles solares flotantes presentan múltiples ventajas frente a los terrestres. [23]

#### ***2.3.3.1 Consumo mínimo del suelo***

En primer lugar, el consumo del suelo es mínimo. Se sitúan sobre masas de agua que se usan como espacios de almacenamiento, por lo que evitan los obstáculos de la adquisición de tierras y su consumo, y liberan terrenos para ejercer otras actividades.

#### ***2.3.3.2 Reducción de la evaporación***

En segundo lugar, los módulos flotantes reducen la evaporación del agua subyacente ya que dificultan el paso de la luz solar. Por ello, pueden aportar grandes beneficios en embalses utilizados para el riego o donde el agua procede de pozos y es necesario bombearla. Además, mejoran la calidad del agua ya que se bloquea el crecimiento de algas y otros organismos.

Los datos de los primeros meses de 2023 según RTVE sitúan los embalses de España al 49,6% de su capacidad, un valor muy por debajo de la media de la última década (68,7%). Un problema grave ante la alerta de sequía para el cual las instalaciones fotovoltaicas flotantes podrían suponer una gran mejora. [24]

En España se ha experimentado con métodos para cubrir la superficie de distintos embalses como el de la finca experimental de Agua Amarga, de Cieza; el Centro Integrado de Formación y Experiencias Agrarias (CIFEA), de Molina de Segura, y el Centro de Demostración y Transferencia Tecnológica El Mirador, en San Javier, llegando a reducir la evaporación entre un 60 y un 80%. [25]

#### ***2.3.3.3 Mejora del rendimiento***

En tercer lugar, se produce un aumento de la eficiencia. Los paneles fotovoltaicos terrestres pierden rendimiento con el calor y ven reducida su vida útil, mientras que la refrigeración proporcionada por el agua para los paneles fotovoltaicos flotantes evita este problema.

De acuerdo con Nicolas Maccioni, director de Asuntos Públicos de Akuo, empresa líder en proyectos de fotovoltaica flotante en Francia, "El agua enfría los paneles y mejora su eficiencia entre un 5 y un 10% en comparación con los paneles solares convencionales", aumentando por tanto su eficiencia.

Además, numerosos estudios como los de (Choi, 2014) afirman que el aumento de rendimiento respecto a los módulos terrestres está en torno al 10%



Gráfico 5. Diferencias de producción en una instalación de 100kW y de 500kW

Dicha diferencia se debe principalmente a la cercanía de los módulos fotovoltaicos a una masa de agua, que no permite que su temperatura se eleve demasiado.

Sin embargo, la energía solar fotovoltaica flotante también se enfrenta a ciertos desafíos. [26]

Al ser una tecnología relativamente nueva, el impacto medioambiental y muchos otros factores se desconocen, por lo que deberán analizarse a largo plazo. Hay una falta de conocimiento, experiencia y pruebas en el uso de este tipo de instalaciones.

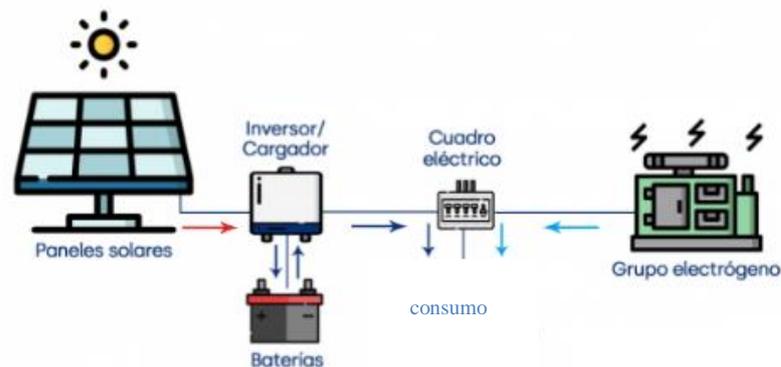
Otro de los desafíos existentes es asegurar que los paneles no se desplacen demasiado en el agua. Además, a pesar de que el mar es un gran emplazamiento para estas instalaciones, se deben solucionar ciertos aspectos para que sea eficiente la instalación de placas flotantes, como la corrosión provocada por la sal marina o el efecto de las olas, que pueden provocar daños en las estructuras.

## 2.4 *INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA FLOTANTE EN UN EMBALSE*

A la hora de diseñar una instalación fotovoltaica flotante, se deben tener en cuenta su localización. Al contrario que las instalaciones fotovoltaicas tradicionales, situadas sobre un terreno, las flotantes se localizarán en una masa de agua, que podrá ser, entre otros, un mar, lago o embalse.

Otro de los primeros pasos, será seleccionar la forma de conexión más conveniente, que podrá ser aislada o conectada a red.

En el caso de la instalación aislada, o de autoconsumo, la energía se genera de manera independiente sin ninguna conexión a la red eléctrica y se requieren baterías para almacenar y regular en el caso de picos y valles de energía. Su esquema se asemejará al siguiente.



*Ilustración 8. Esquema de instalación fotovoltaica aislada. Selectra. [27]*

Por otro lado, las instalaciones conectadas a red, como su nombre indica, están conectadas a la red eléctrica e interactúan con ella obteniendo energía, cuando la demanda supera a la producción y vertiendo los excedentes de energía sobre ella. Es la forma de conexión más conveniente para cantidades elevadas de energía.

Debido a las características de este proyecto, se diseñará una instalación fotovoltaica flotante conectada a red y ubicada en un embalse.

## 2.4.1 ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA FLOTANTE EN UN EMBALSE



*Ilustración 9 Esquema de funcionamiento de una central fotovoltaica flotante conectada a red en un embalse. Iberdrola. [28]*

## 2.4.2 FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA FLOTANTE

Como se puede observar en el esquema [Ilustración 9], una instalación fotovoltaica flotante consta de unos módulos fotovoltaicos situados sobre un sistema de flotación. En dichos módulos, mediante el efecto fotoeléctrico, se transforma la radiación del sol en energía eléctrica. La energía producida se transporta mediante el cableado a la subestación eléctrica, que la transforma de energía continua a alterna, para posteriormente conectarse a la red eléctrica.

### **2.4.3 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA FLOTANTE**

Una instalación eléctrica flotante conectada a red en un embalse consta de las siguientes partes:

#### ***2.4.3.1 Módulos fotovoltaicos [6] [29]***

Se trata del elemento principal de la instalación. Es el equipo de generación fotovoltaica encargados de transformar la radiación solar en corriente continua a través del efecto fotoeléctrico.

Cada módulo está compuesto por varias células fotovoltaicas. Existen distintos tipos de tecnologías utilizadas para la elaboración de las células fotovoltaicas, que pueden clasificarse según su nivel de desarrollo en FV de primera, segunda o tercera generación. Así, las Tecnologías FV de primera generación serán las actuales, principalmente el Silicio cristalino; y las de tercera serán las futuras, como células solares orgánicas.

En este trabajo se utilizará el Silicio Cristalino. Se trata de un metal semiconductor de difícil dilución, que resiste a ácidos como el fluorhídrico o el nítrico; muy duro, con una dureza de 7; y altos puntos de fusión, 168K y ebullición, 3173K. Es el semiconductor más utilizado para construir las células fotovoltaicas en las tecnologías FV de primera generación y que puede darse en las siguientes formas:

#### ***Células de silicio monocristalino***

Son las más utilizadas en la industria por su alta eficiencia y su coste de producción cada vez más reducido. Están compuestas por un único cristal de silicio (Si) uniforme, lo que permite a los electrones un mayor movimiento y meno pérdidas, ofreciendo una mayor eficiencia y pureza. Se caracteriza por ser células con los cantos redondeados de color negro. Tienen una vida útil de entre 25 y 30 años y su rendimiento es de entre el 18 y el 25%.

### *Células de silicio policristalino*

Se trata de obleas compuestas de varios fragmentos de silicio, previamente fundidos, cristalizados. Presentan una menor eficiencia que los monocristalinos ya que los electrones tienen mayor dificultad para moverse y pueden aparecer impurezas. Su color es más azulado. Inicialmente su coste era menor que el de los monocristalinos; sin embargo, esa ventaja se ha ido reduciendo al ir disminuyendo el coste de fabricación de los monocristalinos por lo que, en la actualidad, la fabricación de los policristalinos es cada vez menor. Tienen una vida útil de entre 25 y 30 años y su rendimiento es de entre el 16 y el 20%.

### *Módulos de silicio amorfo (a-Si)*

En ellos, el silicio no ha cristalizado. Su coste es menor, pero, en consecuencia, su rendimiento se ve muy reducido, entre el 6 y el 8%. Son poco utilizados

Para la instalación diseñada en este trabajo, se utilizarán módulos compuestos de Silicio Monocristalino, que ofrecen mayor eficacia y rendimiento; y, por tanto, mayores beneficios a largo plazo.

#### **2.4.3.2 Plataforma flotante o pontón**

Estructura que sostiene al panel solar y encargada de mantener suspendida la instalación sobre el agua.

La plataforma flotante [Ilustración 10] estará compuesta por flotadores para módulos fotovoltaicos, flotadores secundarios y elementos aseguradores de la instalación.



*Ilustración 10 Esquema de los componentes de una unidad de un sistema fotovoltaico flotante.*

*Intergia.[30]*

Los flotadores para módulos flotantes son el elemento principal. Se trata de un flotador modular encajable hueco con diseño cóncavo. Sobre ellos se sitúan los módulos fotovoltaicos

El flotador secundario sirve de plataforma para las pasarelas de mantenimiento, canalizaciones eléctricas o soporte para los inversores en el caso de que se instalen sobre la isla flotante.

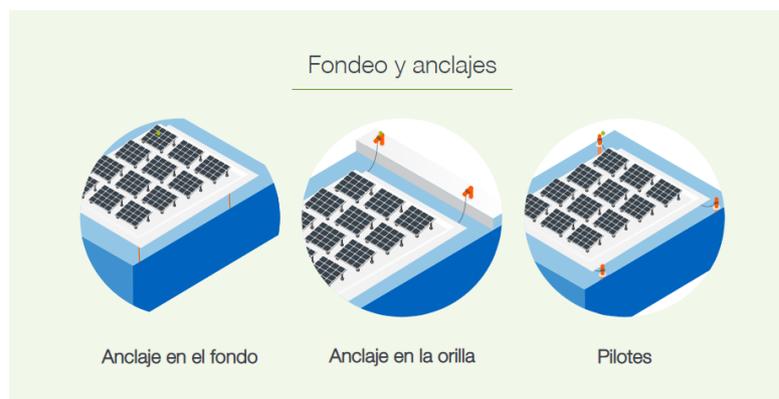
Los elementos que aseguran la instalación son clips de fijación para los módulos, las uniones de flotadores, tornillos, tuercas y otros elementos utilizados en la estructura.

Estas estructuras suelen estar compuestas de polietileno de alta densidad (HDPV) ya que tiene una elevada resistencia a esfuerzos y a la corrosión, así como la capacidad de flotar con un peso sobre ellas, por lo que será el material utilizado en este trabajo.

#### **2.4.3.3 Sistema de amarre [6]**

Ancla la estructura y ayuda a ajustar las fluctuaciones del nivel del agua. Deben adaptarse a cada tipo de instalación, ser lo suficientemente resistente como soportar las fuerzas externas, como el viento, y proporcionar tanto seguridad como eficiencia. Los tres tipos más habituales de anclajes son:

- Anclaje en el fondo: se basa en un placa enterrada o asegurada al fondo y conectada a los flotadores que no permite su desplazamiento, asegurando su posición.
- Anclaje en la orilla: consiste en la colocación de elementos de anclaje en la orilla, conectados a los flotadores que evitarán su movimiento.
- Pilotes: son elementos con forma de columna vertical relativamente largos que se inducen en el suelo y evitan el movimiento.



*Ilustración 11 Tipos de anclaje en una instalación fotovoltaica flotante. (Iberdrola) [6]*

#### **2.4.3.4 Sistema de cableado y línea de evacuación**

Es el encargado de llevar la energía generada en los módulos fotovoltaicos a la subestación eléctrica y a la red eléctrica.

El cableado utilizado en circuitos de corriente continua tiene mayor aislamiento y sección que el de corriente alterna ya que, a pesar de que la tensión empleada es baja (entre 12V y 24V), la potencia transportada es elevada por lo que también lo es la corriente que circula por ellos.

Además, en una instalación fotovoltaica flotante, el riesgo de humedad o contacto con agua es mayor que en una fotovoltaica terrestre por lo que el aislamiento y los elementos de seguridad deben aumentar.

Por otro lado, para el cableado de la zona de corriente alterna puede utilizarse el convencional, similar al que puede encontrarse en cualquier instalación eléctrica. Se tendrá en cuenta que cuanto mayor sea la potencia de los consumos, mayor será su sección.

La línea aérea de media tensión transporta la energía generada por el parque solar fotovoltaico desde el punto de generación hasta el punto de conexión a la red eléctrica. Generalmente es una línea aérea y sigue la norma UL 4703 aunque se pueden encontrar tramos subterráneos, para lo que se respetará la norma UL 854.

#### ***2.4.3.5 Edificación en tierra***

La edificación en tierra de la instalación fotovoltaica flotante incluye la caseta de operaciones y control de energía y el inversor.

La caseta de operaciones y control será una zona destinada a las necesidades de almacenamiento, mantenimiento y otras operaciones realizadas por operarios y trabajadores.

##### ***2.4.3.5.1 Inversor [31][32]***

El inversor será el componente de la instalación encargado de transformar la corriente continua, de una sola dirección de flujo y generada por los paneles solares, en corriente alterna, donde la dirección de flujo va cambiando, para que pueda suministrarse a los consumidores o conectarse a la red. Deberá garantizar ciertas condiciones para poder conectar a los consumos y no causar perturbaciones en la red, suministrando corriente alterna a 230 V y 50Hz.

Hay distintos tipos de inversores, dependiendo de los circuitos eléctricos, los transistores y filtros de su interior, generará una corriente de onda cuadrada o senoidal, y dentro de este tipo, se distinguen de onda pura o modificada.

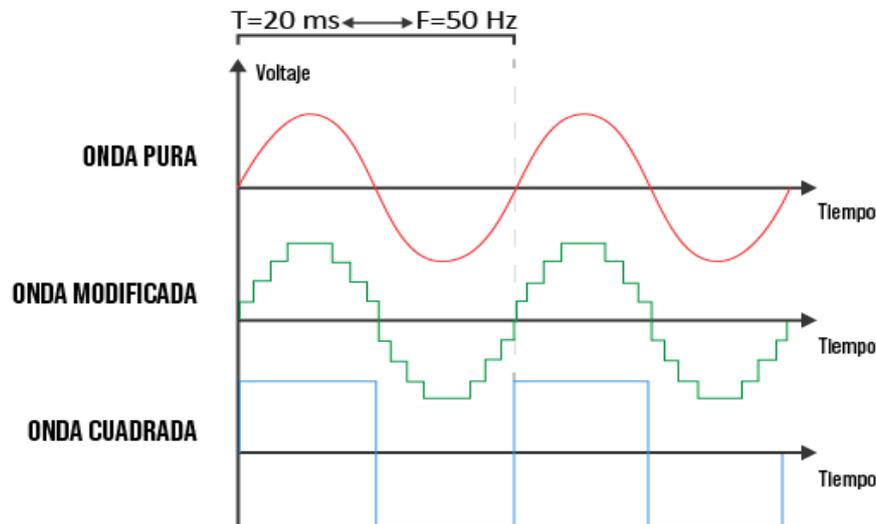


Gráfico 6. Tipos de ondas en un inversor. Autosolar

El funcionamiento del inversor de onda cuadrada se basa en hacer pasar la corriente por la cara primaria de un inversor y cambiar su dirección 100 veces por segundo de tal modo que cuando sale por la cara secundaria del inversor, la corriente alterna con una frecuencia de 50 ciclos por segundo (50Hz). El cambio de la dirección del flujo es tan brusco que se obtiene como resultado una onda cuadrada. Sin embargo, a pesar de su bajo coste, este tipo de inversores son poco eficientes y poco compatibles con muchos equipos, especialmente cargas inductivas (motores, tubos fluorescentes y dispositivos con cebadores) así como electrodomésticos de última generación.

Por otro lado, el inversor de onda sinusoidal convierte la corriente continua en corriente alterna con flujo de tipo senoidal.

La onda de los inversores de onda sinusoidal modificada se asemeja a una onda cuadrada, pero con un paso adicional. No se alcanza la máxima eficiencia ya que un porcentaje elevado de la onda sinusoidal modificada se compone de frecuencias más elevadas de 50 Hz, por lo que no se utilizan. Es compatible con la mayoría de dispositivos, aunque la eficiencia y la potencia del equipo alimentado pueden verse reducidos.

Los inversores de onda sinusoidal pura son aquellos capaces de reproducir una onda uniforme entre los distintos pulsos. El inversor de onda pura funciona en tres etapas: oscilador, refuerzo o amplificador y etapa de transformador. En la etapa de oscilador, mediante circuitos integrados, se convierte la corriente continua en oscilaciones. En la etapa de refuerzo, se toma la señal del oscilador y se amplifica. Por último, en la etapa del transformador, se controla el voltaje. Al tratarse de una onda uniforme en vez de brusca y segmentada, se aumenta la compatibilidad con los dispositivos de los consumos, así como la eficiencia. Pueden ser analógicos y digitales: los digitales presentan un rendimiento eléctrico mayor y permiten sistemas de control y protección más complejos.

Además, con el uso de este tipo de inversores, se aumenta el tiempo de vida útil de los equipos por lo que se disminuyen los costes y se aumenta la eficiencia a largo plazo.

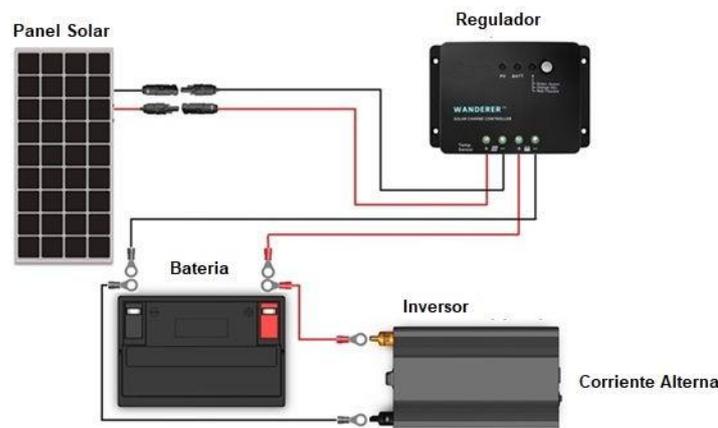
En este trabajo se utilizará un inversor con seguimiento del punto de máxima potencia o MPTT. Se trata de un algoritmo utilizado para extraer la máxima potencia disponible de los módulos fotovoltaicos. Un inversor con varios MPTT admite distintas entradas de subgrupos o strings de módulos, y para cada uno de ellos buscará el punto de máxima potencia.

#### ***2.4.3.6 Dispositivos de protección [33] [34]***

En la zona de corriente continua, desde su generación en los módulos fotovoltaicos hasta el punto en el que el inversor la transforma en alterna, serán necesarios dispositivos de protección como seccionadores, protecciones contra rayos y fusibles.

- Seccionadores de corte: permiten abrir el circuito manualmente cuando sea necesario manipularlo para mayor seguridad. También regulan el circuito frente a sobreintensidades.
- Descargadores de sobretensiones: derivan a tierra sobretensiones derivadas de fenómenos atmosféricos como rayos.
- Fusibles: protegen contra sobreintensidades y son necesarios debido que a las conexiones en paralelo de strings o cadenas de módulos fotovoltaicos conectados en serie.

En los sistemas conectados a red con baterías, se instala un regulador de carga solar en la zona de corriente continua. Se encarga de controlar el flujo de energía, el voltaje y la corriente, proveniente de los módulos fotovoltaicos. Sus funciones principales son evitar que el flujo vaya en dirección de los paneles fotovoltaicos y proteger frente a sobrecargas o descargas en el sistema, así como contra cortocircuitos. Existen dos tipos principales, el regulador de carga PWM, que es más barato y menos eficiente y el MPPT, que aprovecha la máxima producción del módulo fotovoltaico, optimizando la producción.



*Ilustración 12 Conexión del regulador de carga. (Área Tecnología)[35]*

En la zona de corriente alterna, serán necesarios magnetotérmicos, diferenciales y protecciones contra sobretensiones como descargadores de tensiones, al igual que en DC.

- Interruptores magnetotérmicos: protegen contra cortocircuitos y sobreintensidades. Se coloca como mínimo uno a la salida del inversor y para proteger en otros puntos.
- Interruptores diferenciales: se sitúan en las instalaciones de corriente alterna con el objetivo de garantizar la seguridad de las personas frente a contactos directos, así como para prevenir riesgos causados por un fallo de aislamiento en una zona en tensión.

Además, serán necesarios dispositivos tanto para el contacto directo, protección de las personas contra el riesgo de contacto con un punto en tensión de la instalación, como el indirecto, cuando se tocan distintos puntos en tensión accidentalmente. Los dispositivos de

protección contra contacto directo estarán regulados por la norma UNE 20.460-4-41 y los de indirecto, por la ITC-BT-08 y por la UNE 20.572-1.

Finalmente, la puesta a tierra es uno de los elementos más importantes de la instalación no sólo para su funcionamiento sino como elemento de seguridad ya que deriva a tierra la corriente de defecto que se pueda generar por fallos, averías o errores, entre otros.

# **CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN**

## **Capítulo 3. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN**

### **3.1 CONCEPTOS NECESARIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN**

A la hora de dimensionar la instalación, se tendrán en cuenta los siguientes conceptos.

#### **3.1.1 POTENCIA INSTALADA**

Se tomará la definición de potencia instalada para una instalación fotovoltaica genérica, ya que actualmente no hay especificaciones para instalaciones fotovoltaicas flotantes.

De acuerdo con el Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre del Gobierno de España, la potencia instalada de una instalación fotovoltaica [36] será la menor de entre las dos siguientes:

- a) La suma de las potencias máximas unitarias de los módulos fotovoltaicos que configuran dicha instalación, medidas en condiciones estándar según la norma UNE correspondiente. La unidad de medida será el kilovatio pico.

*Ecuación 2. Potencia de la instalación (kWp) =*

*Numero de placas \* potencia de cada panel (kWp)*

- b) La potencia nominal (activa) del inversor o, en su caso, la suma de las potencias de los inversores que configuran dicha instalación. Será por tanto la potencia que es capaz de soportar el inversor en régimen permanente.

*Ecuación 3. Potencia de la instalación (kW) =*

*Número de inversores \* Potencia de cada inversor (kW)*

El objetivo principal de la instalación es una elevada generación eléctrica, así como una mayor eficiencia que se transformará en una rápida amortización. Se pretende generar suficiente energía como para satisfacer las necesidades energéticas de las localidades cercanas al embalse de San José. Por tanto, para el valor de la potencia instalada de la central se ha optado por 1MWp de potencia.

### **3.1.2 POTENCIA PICO DE CADA PANEL**

El valor de potencia pico [37] medido de un panel, medido en kWp, es la potencia máxima que pueden generar de acuerdo con los fabricantes, medida en condiciones estándar de radiación solar: irradiancia solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de 25 °C y masa de aire 1,5.

### **3.1.3 FACTOR DE ESCALA DEL INVERSOR**

Relación entre la potencia pico generada por los módulos fotovoltaicos y la potencia nominal AC del inversor (kWp/kWn) a 100W/m<sup>2</sup> y 25°C. Puesto que estas condiciones no son las reales de trabajo, los inversores se suelen seleccionar con un factor de escala entre 1 y 1.3.

### **3.1.4 PÉRDIDAS**

La eficiencia máxima teórica de los paneles, conocida como el límite Shockley-Queisser se sitúa alrededor del 25%. [38] Por tanto, de la cantidad total de energía solar que incide sobre un panel fotovoltaico de silicio monocristalino, alrededor de un cuarto se transforma en energía eléctrica de corriente continua en los módulos. El resto de esa energía se pierde como radiancia reflejada y pérdidas térmicas.

Una vez generada en los módulos dicha corriente eléctrica sufre más pérdidas en su recorrido hasta el punto de consumo. Se pueden calcular las pérdidas como:

$$\text{Ecuación 4} \quad \%P\acute{e}r\text{didas} = \frac{\text{Energía entrante} - \text{Energía saliente}}{\text{Energía Saliente}} \times 100$$

$$\text{Energía consumida} = \text{Energía aprovechada} + \text{P\acute{e}rdidas}$$

Las pérdidas [39] más destacables son las siguientes:

- Pérdidas por disparidad debidas a diferencias en la producción de energía entre los distintos módulos.
- Pérdidas por inclinación y orientación debidas al ángulo con la que la radiación solar incide en los paneles, así como por radiación reflejada.
- Pérdidas por obstrucción causadas por suciedad y polvo que dificultan la incidencia de la radiación en los paneles.
- Pérdidas en los empalmes y conectores, en los cables de corriente continua y alterna, así como por el efecto Joule que consiste en la transformación de parte de la energía de los electrones en energía térmica debido a choques con el material conductor por el que circula.
- Pérdidas en el inversor debidas a la diferencia entre su rendimiento en la práctica frente al teórico.

### **3.1.5 RENDIMIENTO**

Mide la eficiencia de la máquina y se expresa como la relación entre la potencia útil obtenida o potencia de salida y la potencia suministrada.

Por tanto, utilizando la [Ecuación 4] Obtenemos:

$$\text{Ecuación 5. Eficiencia del proceso} = \frac{\text{Energía aprovechada}}{\text{Energía consumida}}$$

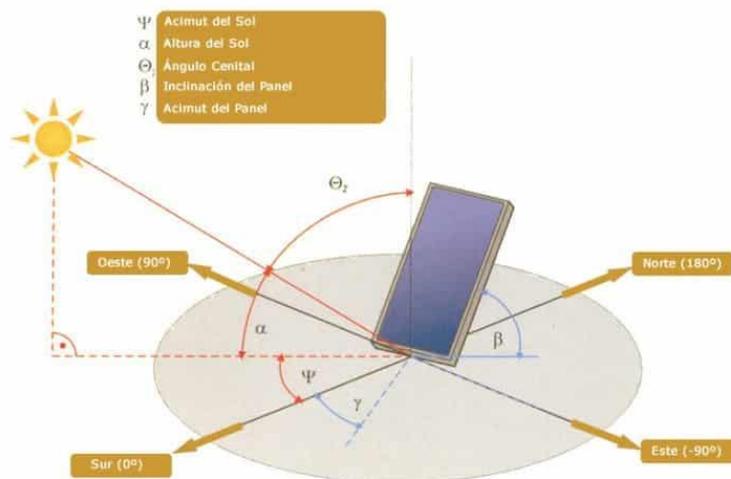
$$\text{Eficiencia del proceso} = 100\% - \% \text{ Pérdidas}$$

Como se explicó en el punto [2.3.3.3], según numerosos estudios como el de (Choi, 2014), las instalaciones fotovoltaicas flotantes tienen un rendimiento mayor que las terrestres, del 10%.

Por tanto, se realizará la simulación con PVGIS para un sistema en tierra, por no tener acceso a un software que simule instalaciones flotantes, y posteriormente se aplicará el factor de corrección correspondiente.

### 3.1.6 ACIMUT Y ÁNGULO DE INCLINACIÓN

El acimut solar es el ángulo que forma la dirección sur con la proyección horizontal del sol, hacia el norte por el noreste o por el noroeste, considerando la orientación sur con  $\psi = 0^\circ$ , y considerando los ángulos entre el sur y el noreste negativos y entre el sur y el noroeste positivos. [40]



*Ilustración 13 Representación del Acimut y ángulo de inclinación. (Sunfields). [40]*

El valor del Azimut se obtendrá mediante simulación con el software PVGIS.

Por otro lado, la inclinación del panel  $\beta$  es el ángulo medido con la vertical. [41]

Idealmente, la inclinación de los paneles sería variable, reduciéndose en verano cuando la altura del Sol y aumentándose en invierno. Sin embargo, en nuestra instalación, la inclinación será estática.

A la hora de elegir la inclinación, se busca maximizar la radiación media anual y por tanto la generación media de la instalación. El cálculo teórico se realiza mediante la siguiente ecuación:

*Ecuación 6*      $\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi|$

donde:  $\beta_{opt}$  es la inclinación óptima de los módulos y  $\phi$  es la latitud del lugar

Sabiendo que la latitud del embalse de Castronuño es 41, 38° y mediante la [Ecuación 6]

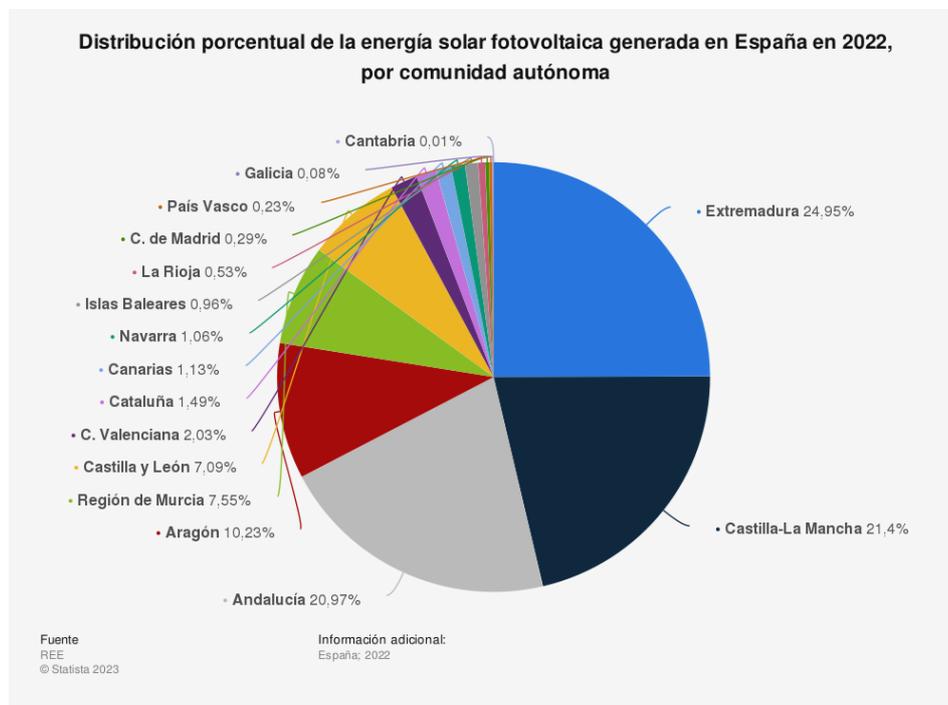
$$\beta_{opt \text{ teórica}} = 3.7 + 0.69 * |41.38| = 32.25^\circ$$

En la práctica, existen variaciones por lo que la inclinación óptima también se hallará con el software PVGIS.

### 3.2 ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Para situar la instalación se ha elegido el municipio de Castronuño, en la provincia de Valladolid, Castilla y León, España.

Actualmente, la Comunidad Autónoma de Castilla y León es responsable de la producción del 7,09 % de la energía fotovoltaica de España. Dicho porcentaje se podría aumentar si se llevaran a cabo proyectos como el que se propone en este trabajo.



*Ilustración 14. Distribución porcentual de la energía solar fotovoltaica generada en España en 2022 (Statista)*

El proyecto se realizará en el embalse de San José, en el municipio de Castronuño. De acuerdo con Google Earth Pro, las coordenadas exactas son:

Latitud (m)	41°24'14''N
Longitud (m)	5°16'24''O



*Ilustración 15. Ubicación de la Instalación. Google Earth.*



*Ilustración 16. Ubicación del Embalse de San José. Google Earth.*

Sus características principales se recogen en la siguiente tabla.

Nombre	Embalse de San José
Ubicación	Castroña, Valladolid, Castilla y León, España
Cuenca	Río Duero
Características	Presa de gravedad
Superficie	192 ha
Superficie útil	90,2 ha
Capacidad	5,5 hm <sup>3</sup>

*Tabla 3. Características del embalse de San José [Iagua]*

### **3.2.1 ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO**

El clima de Castilla y León es oceánico continental y semiárido, caracterizado por inviernos fríos y veranos calurosos con cortos periodos primaverales y otoñales.

#### ***3.2.1.1 Análisis de temperatura***

Los datos de temperatura utilizados serán los recopilados por la AEMET en el periodo de 1981 a 2010.

La estación de la AEMET en la que se han recopilado los datos está situada en Valladolid, en el barrio de Parquesol. La posición de dicha estación es:

Base de datos	Valladolid, Castilla y León
Latitud	41° 38' 27" N
Longitud	4° 45' 16" O
Altitud (m)	735
Distancia	50.6 km

*Tabla 4. Características de la estación de la AEMET de Valladolid. AEMET.*



*Ilustración 17. Distancia de la estación de la AEMET de Valladolid al embalse de San José.*

*Google Earth.*

La temperatura es un factor importante a la hora de diseñar la instalación ya que está fuertemente relacionada con el rendimiento de la instalación. Además, tanto el número medio de días anuales despejados como el número de horas de luz anuales son también datos de gran importancia. De ellos depende la irradiancia solar captada por los paneles y transformada en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico.

Así, cuantos más días despejados haya, mayor será la radiación directa captada, y menor la difusa, que aumentará en días nublados al reflejarse la radiación en las nubes. Por otro lado, cuantas más horas de luz haya, mayor será la producción eléctrica de la instalación.

En el siguiente gráfico pueden observarse la media de temperaturas anuales, máxima y mínima, así como el nivel de humedad, el número medio de días despejados y de horas de sol anuales durante el periodo de 1981 a 2010 por la AEMET.

Mes	T	TM	Tm	H	DD	I
Enero	4.2	8.2	0.2	83	3.5	101
Febrero	5.9	11.2	0.7	72	4.3	147
Marzo	9.0	15.2	2.8	62	6.0	215
Abril	10.7	16.9	4.6	62	3.9	232
Mayo	14.5	21.0	7.9	60	3.5	272
Junio	19.3	27.0	11.6	52	7.8	322
Julio	22.3	30.7	14.0	45	14.1	363
Agosto	22.1	30.1	14.1	48	11.8	334
Septiembre	18.5	25.6	11.3	56	7.5	254
Octubre	13.2	18.9	7.6	70	4.2	182
Noviembre	7.9	12.4	3.5	79	3.5	117
Diciembre	5.0	8.6	1.3	84	3.2	89
<b>Año</b>	<b>12.7</b>	<b>18.8</b>	<b>6.6</b>	<b>64</b>	<b>72.8</b>	<b>2624</b>

*Tabla 5. Tabla de Temperaturas medidas en la estación meteorológica de Valladolid en los años 1981-2010. AEMET.*

#### Leyenda

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)

### Legenda

- H Humedad relativa media (%)
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

### 3.2.2 ANÁLISIS DE LA IRRADIANCIA CON PVGIS

Como se puede observar en la [Ilustración 18], la zona de Castronuño es un emplazamiento estratégico para la generación de energía fotovoltaica en Castilla y León, al ser la zona de dicha Comunidad Autónoma con mayor irradiación solar.



*Ilustración 18. Datos de radiación solar de España. ADRASE. [42]*

Se ha hecho un análisis de la irradiancia a través de la herramienta **PVGIS**.

Inicialmente, se ha realizado una simulación de una instalación fotovoltaica conectada a red en el embalse, obteniéndose unos valores óptimos de:

Ángulo de inclinación (°)	36
Ángulo Acimut (°)	-4

Los datos introducidos en la base de datos de PVGIS para la obtención de los valores de irradiancia global media diaria por horas ( $W/m^2$ ) entre 2015 y 2020 son los valores óptimos de inclinación y Acimut, así como:

Latitud (°)	41.38
Longitud (°)	-5.271
Base de datos de radiación	PVGIS-SARAH2
Año inicial	2015
Año final	2020

	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0.5	10	0.2	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	19	59	65	47	28	3.1	0	0	0
8:00	0	0	76	175	224	233	227	202	173	98	0.3	0
9:00	84	186	290	364	419	426	440	427	403	309	198	85
10:00	261	390	482	539	603	603	640	636	608	479	355	275
11:00	381	554	639	671	713	743	807	807	778	636	490	386
12:00	455	667	743	764	808	837	920	914	883	728	556	468
13:00	491	692	751	786	843	862	965	959	902	737	578	504
14:00	464	691	759	753	791	837	927	928	867	712	523	483
15:00	421	600	650	664	701	742	828	828	740	591	429	397
16:00	340	488	539	543	583	609	683	671	585	457	328	327
17:00	222	328	374	377	394	432	490	476	393	269	175	159
18:00	2.3	110	184	201	226	252	281	259	176	48	0.1	0
19:00	0	0	10	45	64	86	93	68	15	0	0	0
20:00	0	0	0	0	11	30	31	5.6	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 6. Irradiancia global media diaria por horas ( $\frac{W}{m^2}$ ) de 2015-2020. (PVGIS)

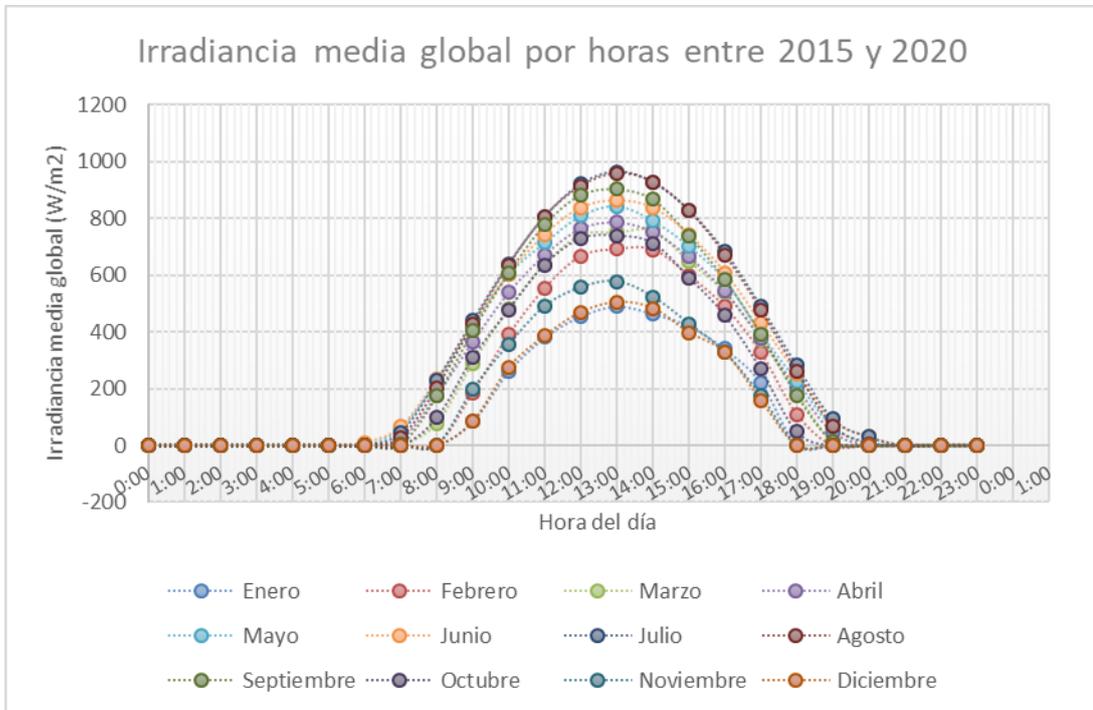


Gráfico 7. Representación de la Irradiancia global media diaria por horas W/m<sup>2</sup> de 2015-2020

### **3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN**

#### **3.3.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Para la instalación diseñada en este trabajo, se utilizarán módulos compuestos de Silicio Monocristalino, que ofrecen mayor eficacia y rendimiento.

A la hora de elegir los módulos fotovoltaicos, se ha analizado la eficiencia de los mejores módulos fotovoltaicos del mercado de España. Así, se le ha dado mucha importancia a que se trate de un producto nacional. Invertir en tecnología española supone que estas empresas puedan seguir mejorando sus productos y es una manera de contribuir a nuestra economía.

Los paneles fotovoltaicos elegidos han sido los monocristalinos A-450M GS 144 del grupo Atersa, cuya sede se encuentra en Valencia. Cuentan con una eficiencia del 20,7%, una de las más elevadas del mercado español y las especificaciones técnicas [Anexo 1] recogidas en la siguiente tabla.



*Ilustración 19 Módulos monocristalinos A-450 GS 144 de Atersa [43]*

Especificaciones de producto		A-450 GS 144
Parámetros eléctricos STC	Potencia nominal - Pmax (Wp)	450 Wp
	Tolerancia de potencia - (W)	0/+5
	Tensión nominal - Vmp (V)	41,30 V
	Corriente nominal - Imp (A)	10,78 A
	Tensión a circuito abierto - Voc (V)	49,10 V
	Corriente corto circuito – Isc (A)	11,6 A
	Eficiencia del módulo (%)	20,47 %
Límites operativos	Voltaje máximo del sistema:	1.500 V
	Margen de temperatura del módulo:	-40 a +85 ° C
Datos generales	Tipo de célula	144 células (6x24) / Mono PERC 9BB/ 166 x 83 mm
	Longitud	2094 mm
	Anchura	1038 mm
	Espesor	35 mm
	Peso (± 0.5 kg)	24 kg
	Garantía	25 años

*Tabla 7. Especificaciones de producto: Módulos A-450 GS 144 de Atersa [44]*

En total, la instalación fotovoltaica se compondrá de 124 strings de 18 y 17 módulos fotovoltaicos. Habrá un total de 2.225 módulos fotovoltaicos que generará una potencia pico de 1.001,25 kWp [Ecuación 2].

### 3.3.1.1 Distancia entre módulos

Se calculará la distancia mínima óptima entre los paneles de manera geométrica mediante la siguiente expresión.

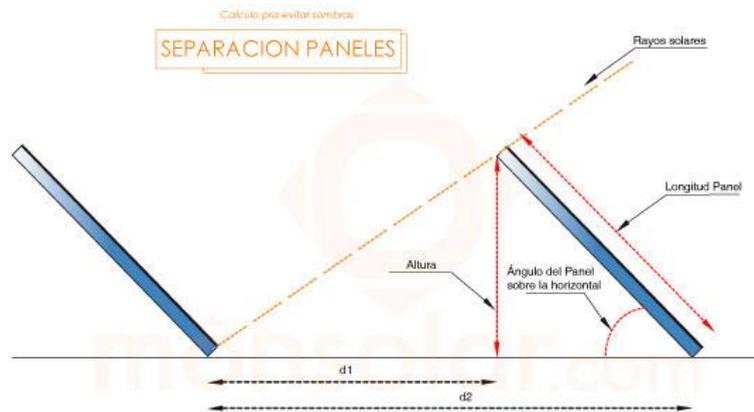
$$\text{Ecuación 7} \quad d1 \geq \frac{h}{\text{tg}(61^\circ - \text{latitud})} = \frac{l \cdot \text{sen}(\alpha)}{\text{tg}(61^\circ - \text{latitud})}$$

Donde:

H = altura de los paneles respecto del plano horizontal

l = longitud de los paneles

$\alpha$  = ángulo del panel sobre la horizontal



*Ilustración 20 Cálculo de distancia entre paneles solares Monosolar*

Por tanto: 
$$d1 \geq \frac{2094 \text{ mm} \cdot \text{sen}(35^\circ)}{\text{tg}(61^\circ - 41.38)} = 3369 \text{ mm}$$

Se situarán los paneles a 3.4 metros de distancia.

### 3.3.2 INVERSOR

Se elegirá un inversor que transforme la corriente DC producida por los módulos fotovoltaicos a corriente AC a 230 V y 50 Hz, correspondientes a la Red Eléctrica Española. El inversor fotovoltaico será de onda sinusoidal pura

A la hora de elegir el inversor se busca optimizar la generación de energía, así como evitar el efecto *Clipping* [45] en el cual, el campo fotovoltaico entrega más potencia al inversor de la que es capaz de transformar en corriente alterna, provocándose cortes en la capacidad de producción y un calentamiento excesivo. Por tanto, se respetará la siguiente relación.

$$1 < \frac{\text{Potencia Total Instalada}}{\text{Potencia Nominal del Inversor}} < 1,3$$

Cuanto mayor es el número de inversores de la instalación, mayor seguridad hay de que, si uno falla, la instalación pueda seguir funcionando y la generación se verá menos afectada. Teniendo esto en cuenta y respetando la relación de potencias, se utilizarán 8 inversores de 100 kW cada uno conectados en paralelo, obteniendo una potencia nominal de 800 kW y una relación de potencias de 1,25. Los inversores elegidos serán el modelo SUN2000 100KTL de la marca Huawei, conocida por su fiabilidad y eficiencia.



TL

*Ilustración 21 Inversor Huawei SUN200 100KTL*

Las especificaciones técnicas [Anexo 2] de dichos productos son las siguientes.

Especificación técnica	Huawei SUN2000 100KTL
<b>EFICIENCIA</b>	
Máxima eficiencia	98.6% @400V, 98,8% @480
<b>ENTRADA</b>	
Máxima Tensión de Entrada	1.100 V
Corriente de entrada máxima por MPPT	26 A
Corriente de cortocircuito máxima	40 A
Tensión de arranque	200 V
Tensión de funcionamiento MPPT	200 V ~ 1,000 V
Tensión Nominal de Entrada	600 V @400 Vac, 720 V @480 Vac
Cantidad de rastreadores MPP	20
Número de entradas por MPPTs	10
<b>SALIDA</b>	
Potencia activa	100,000 W
Máxima Potencia Aparente de CA	110,000 VA
Máxima Potencia Activa de CA (cos = 1)	110,000 W
Tensión Nominal de Salida	480 V/ 400 V/ 380 V, 3W+(N)+PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad Nominal de Salida	144.4 A @400 V, 120.3 A @480 V
Máxima intensidad de salida	160.4 A @400 V, 133.7 A @480 V
<b>GENERAL</b>	
Dimensiones (ancho x alto x profundidad)	1,035 x 700 x 365 mm
Peso	93 kg

*Tabla 8 Especificaciones técnicas del inversor Huawei SUN200 100KTL-M1*

El inversor cuenta con las siguientes protecciones.

Protecciones del inversor	
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Sí
Protección anti-isla	Sí
Protección contra sobreintensidades AC	Sí
Monitorización a nivel de string	Sí
Protección contra polaridad inversa de CC	Sí
Descargador de sobretensiones de CC	Tipo II
Descargador de sobretensiones de CA	Tipo II
Detección de resistencia de aislamiento CC	Sí
Monitorización de corriente residual	Sí

*Tabla 9. Protecciones del inversor*

### **3.3.2.1 Comprobación de compatibilidad entre el inversor y los paneles**

#### **3.3.2.1.1 Número de strings**

*Número total de strings de paneles < Número de strings del inversor*

$$124 \text{ strings de módulos} < 2 \frac{\text{entradas}}{\text{MPPT}} * 10 \frac{\text{MPPT}}{\text{inversor}} * 8 \text{ inversores} = >$$

$$124 \text{ strings de módulos} < 160 \text{ strings del inversor}$$

### 3.3.2.1.2 Compatibilidad entre módulos e inversor [46]

Para analizar la compatibilidad entre los módulos y el inversor, se tendrá en cuenta el efecto de la temperatura en los módulos fotovoltaicos, utilizando los coeficientes de temperatura de la hoja de especificaciones técnicas de los paneles, así como las siguientes expresiones.

$$\text{Ecuación 8} \quad V_{oc}(T) = V_{oc} * (1 + K_{voc} * (T - 25^{\circ}\text{C}))$$

$$\text{Ecuación 9} \quad I_{sc}(T) = I_{sc} * (1 + K_{isc} * (T - 25^{\circ}\text{C}))$$

$$\text{Ecuación 10} \quad P_{pmp}(T) = P_{pmp} * (1 + K_{ppmp} * (T - 25^{\circ}\text{C}))$$

Los cálculos se realizarán en Excel, donde se introducirán los siguientes parámetros de la instalación.

MÓDULO FV		INVERSOR		INSTALACIÓN	
Modelo: A-450 GS 144 de Atersa		Modelo: SUN2000- 100KTL-M1		Tipo: Flotante	
<b>Pmax</b>	450 W	<b>Pnom</b>	100000 W	<b>Nº paneles</b>	2.225
<b>Vmp</b>	41,30 V	<b>Pmax</b>	125000 W	<b>Nº paneles por string</b>	18
<b>Imp</b>	10,78 A	<b>Vmp (min)</b>	200,0 V	<b>Nº strings</b>	124
<b>Voc</b>	49,10 V	<b>Vmp (max)</b>	1100,0 V	<b>Nº strings / inversor</b>	16
<b>Isc</b>	11,60 A	<b>Vmin</b>	200,0 V	<b>Factor de pot</b>	1,10
<b>T coef (Pmp)</b>	-0,35 %/°C	<b>Vmax</b>	1000,0 V	<b>TEMPERATURA</b>	
<b>T coef (Voc)</b>	-0,27 %/°C	<b>Imax adm</b>	26,0 A	<b>T<sup>a</sup>min</b>	-10 °C
<b>T coef (Isc)</b>	0,05 %/°C	<b>Icc max adm</b>	40,0 A	<b>T<sup>a</sup>max</b>	50 °C

*Tabla 10 Parámetros de la Instalación para el análisis de Compatibilidad*

Se calcularán los parámetros alcanzados por la instalación de acuerdo con las especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos y se comprobará que entran dentro de los límites del inversor de potencia máxima, intensidad e intensidad de cortocircuito máximas, tensión nominal máxima y mínima (Voc) y tensión de circuito abierto (Vmp).

CRITERIOS DE COMPROBACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL INVERSOR			
<b>1.- Potencia máxima</b>	P(max) por panel [Ecuación 10]	P(max) por inversor	P(max) del inversor
	481,37	108.308,57	< 110.000,00
<b>2.- Intensidad de entrada</b>	I (max) por panel	I(max) por MPTT	I(max) del Inversor
	10,91	10,91	< 26,00
<b>3.- Intensidad de cortocircuito</b>	Isc (max) por panel [Ecuación 9]	Icc (max) por MPTT	Icc (max) del Inversor
	11,74	11,74	< 40,00
<b>4.- Tensión mínima de funcionamiento</b>	Vmp (min) por panel	Vmp (min) por inversor	Vmp (min) del Inversor
	38,50	693,03	> 200,00
<b>5.- Tensión máxima de funcionamiento</b>	Vmp (max) por panel	Vmp (max) por inversor	Vmp (max) del Inversor
	45,22	813,91	< 1100,00
<b>6.- Tensión máxima soportada</b>	Voc (max) por panel [Ecuación 8]	Voc (max) por inversor	Voc (max) del Inversor
	53,76	967,63	< 1.000,00

*Tabla 11 Comprobación de Compatibilidad entre módulos e inversor*

Por tanto, se comprueba que se cumplen los parámetros y, por tanto, son compatibles.

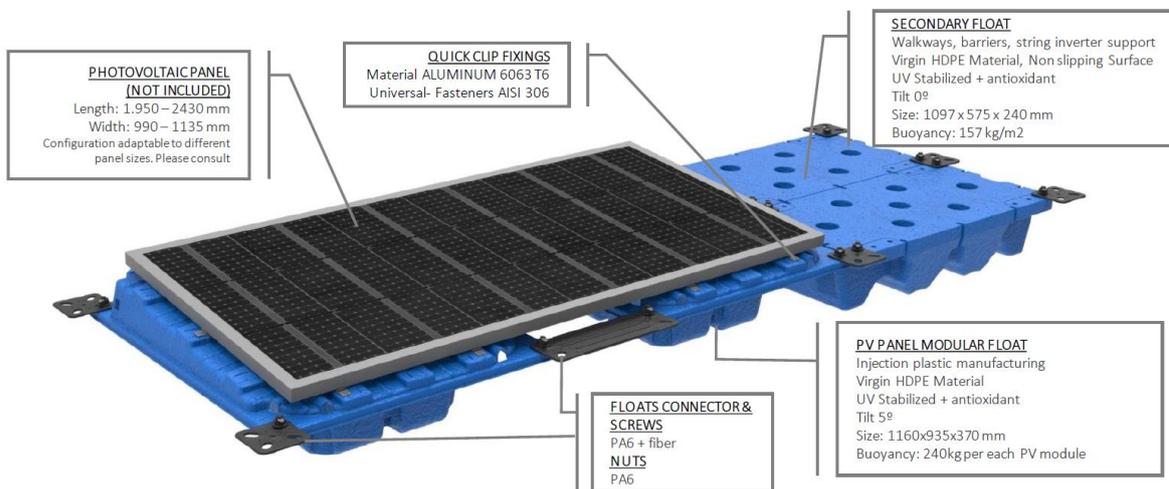
### 3.3.3 SISTEMA DE FLOTACIÓN

Para el sistema de flotación o pontón se utilizará el sistema Isifloating, patentado por la compañía española de ingeniería Isigenere. [47] Se trata de un sistema flotante de 3 mm de grosor de HDPE azul virgen con aditivos uva y anticorrosivos. Permite tanto la flotación de

los paneles por el flotador modular como el desplazamiento de operarios por el sistema a través de la plataforma del flotador secundario.

Debido a que la inclinación óptima del sistema hallada a través de la simulación con PVGIS es de 36° y que cada flotador modular proporciona una inclinación estandarizada de 5°, se apilarán 7 de ellos obteniendo una inclinación de 35°.

De acuerdo con Isigenere, para 1 MW de producción se necesitarán contenedores de 7 x 40', se instalarán en 17 días y requieren un mantenimiento reducido. [Anexo 3]

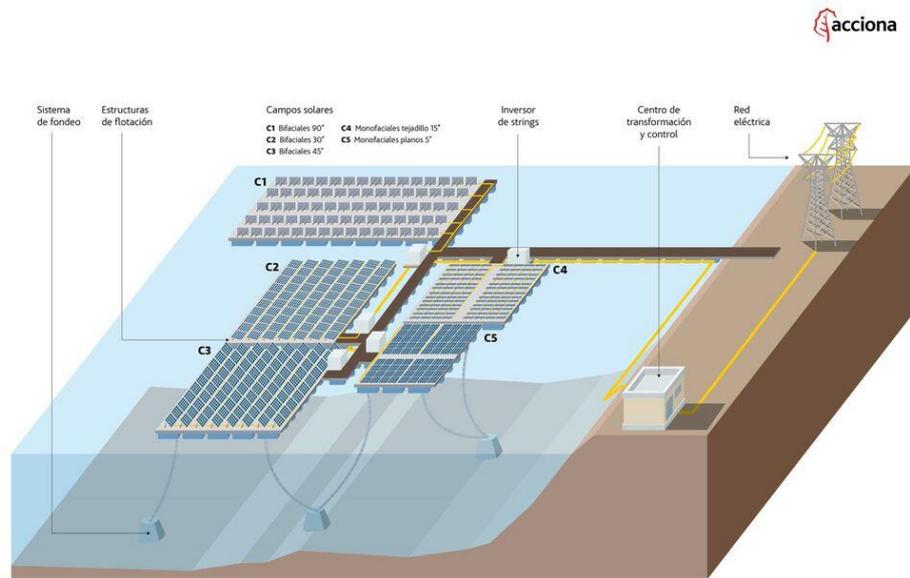


*Ilustración 22. Sistema Isifloating. Isigenere.*

### 3.3.4 SISTEMA DE ANCLAJE

Debido a las ventajas que proporciona el amarre con anclajes de fondo y basádonos en el diseño de la instalación de Acciona en Sierra Brava, Zorita (Cáceres) [48] cuyas características son muy similares a las del embalse de San José, se utilizará el mismo sistema de anclaje mediante dados de hormigón anclados al fondo. En dicho embalse se utilizaron 74 dados de hormigón para 3.000 módulos por lo que, para el embalse tratado en este trabajo, se elegirá un número algo menor, alrededor de 55 amarres. Dicho sistema permite el

movimiento vertical ante fluctuaciones del caudal del embalse y evitará que los paneles se desplacen de su posición horizontalmente.



*Ilustración 23. Sistema de anclaje de la planta de Acciona en Sierra Brava [48]*

### 3.3.5 CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	
Módulos	2225
Potencia nominal unitaria	450 Wp
Potencia total	1.001,25 kWp
Strings	124

Módulos por string	17 y 18
Vmp por string	743,4 V
Voc por string	883,8 V
Imp por string	10,78 A
Isc por string	11,6 A
<b>INVERSORES</b>	
Número de inversores	9
Cantidad de rastreadores MPP	20
Número de entradas por MPPTs	10
Potencia nominal por inversor	100.000 W
Potencia nominal AC	900.000W

*Tabla 12. Resumen de características de la instalación.*

# **CAPÍTULO 4: JUSTIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO**

## Capítulo 4. JUSTIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO

### 4.1 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO INICIAL

Para el cálculo de la inversión inicial, en primer lugar, se obtendrá el coste de los materiales de proveedores. En segundo lugar, por no tener acceso a la información exacta, se realizarán ciertas suposiciones, teniendo en cuenta los datos analizados de otros proyectos similares [49] [50]:

- Se supondrá el coste del cableado como un 5% del coste de los módulos e inversores.
- Se supondrá un coste de mano de obra e instalación del 10% del coste de los equipos.
- Se estima que el coste de la obra civil puede estar entre el 10% y el 20% del coste total. Debido a que se trata de una instalación fotovoltaica flotante y, por tanto, no es necesario hacer trabajos de acondicionamiento en terreno, se supondrá que el coste de la obra civil es del 15% del coste total.
- Se supondrán unos costes de ingeniería y diseño del 5% del coste total.
- Se supondrá un coste de monitorización y seguridad del 2% del coste total.
- Se supondrá un coste de la partida Otros del 3% del coste total.

<b>PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROYECTO</b>		
	Concepto/Partida	Total
1	Equipos necesarios	613.341,09
2	Obra Civil	121.354,41
3	Ingeniería y Diseño	40.220,05
4	Monitorización y seguridad	16.307,36
5	Otros	24.461,04
<b>TOTAL</b>		<b>815.367,91</b>

*Tabla 13. Presupuesto estimado de inversión. Elaboración propia.*

La inversión inicial es de **OCHOCIENTOS QUINCE MIL TRESCIENTOS SESENTA Y SIETE CON NOVENTA Y UN EUROS.**

En la partida de Equipos necesarios, se incluyen los siguientes costes.

INVERSIÓN ESTIMADA PARA LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS			
Conceptos/Partidas	Uds	Material	
		Coste Unitario	Total
1.1 Estructura flotante			
Flotadores primarios	2.223	48,33	107.437,59
Flotadores secundarios	1.112	48,33	53.742,96
Unión de flotadores			806,1444
Amarre	55	1250	68.750
Total			<b>230.736,69</b>
1.2 Paneles fotovoltaicos	2.223	109,5	243.418,50
Cableado			12.170,93
Total			<b>255.589,43</b>
1.3 Inversores	8	6036,69	48.293,52
Cableado			2.716,51
Total			<b>50.708,20</b>
1.4 Instalaciones y mano de obra			76.306,77
Total			<b>76.306,77</b>
<b>1 TOTAL</b>			<b>613.341,09</b>

*Tabla 14. Presupuesto estimado para la adquisición de equipos. Elaboración propia.*

En el presupuesto de obra civil se incluyen todas las acciones necesarias para la construcción de infraestructuras para la instalación fotovoltaica flotante. Entre ellas, el acondicionamiento del embalse, la construcción de las casetas de monitorización o la ampliación del tendido eléctrico para permitir la conexión a la red.

En la partida de ingeniería y diseño se incluyen todos los gastos dedicados a la labor técnica de diseño, desarrollo y preparación del proyecto, así como a la elaboración de los estudios necesarios y la tramitación de los permisos requeridos.

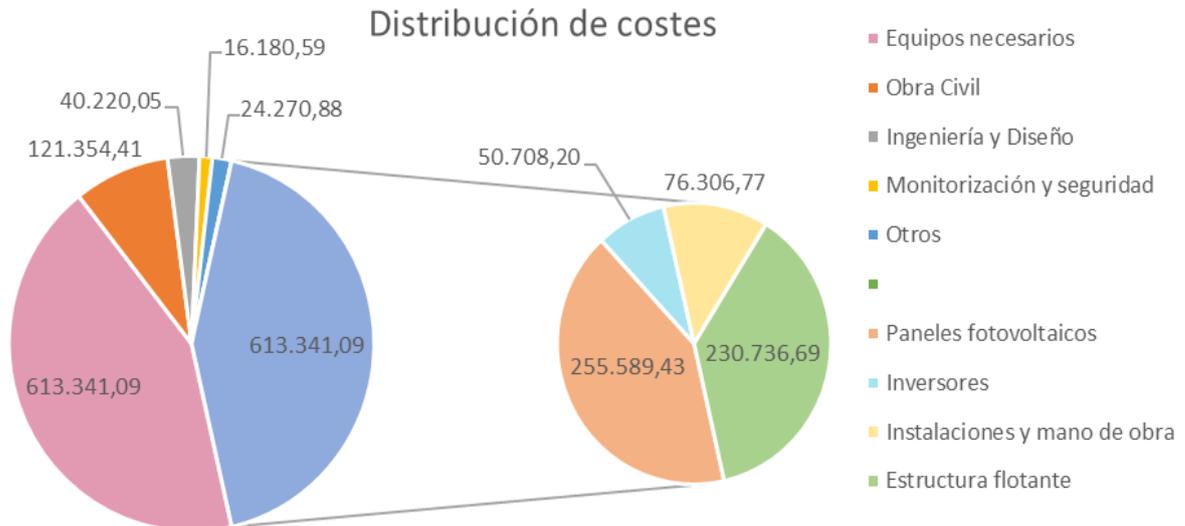
En la partida de monitorización y seguridad se incluyen todos los costes de recogida y análisis de datos en cada string así como de seguridad de la instalación a través de cámaras térmicas y de vigilancia para evitar la intrusión de ningún individuo. No se incluirán los salarios de los trabajadores y vigilantes ni de la subcontratación de dichos servicios.

En la partida de Otros se incluyen el conjunto de gastos no incluidos en los conceptos definidos en el presupuesto estándar, incluyendo el pago de tasas municipales, seguros o servicios externos.

## **4.2 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN**

El coste específico de instalaciones fotovoltaicas terrestres en España se encuentra entre 0,8 y 1,4 €/Wp. [51] El coste específico de la instalación fotovoltaica flotante de este trabajo será de 0,815€/Wp. Aunque el coste específico no muestra un elevado beneficio del uso de módulos flotantes frente a terrestres, los flotantes producirán una mayor generación energética y, por tanto, un mayor beneficio económico a largo plazo.

Analizando la inversión inicial, se puede observar que el mayor coste es el de los equipos necesarios, de un 76% así como la siguiente distribución de costes.



*Gráfico 8. Distribución de los Costes de Inversión*

## 4.3 JUSTIFICACIÓN

### 4.3.1 VIDA ÚTIL

De acuerdo con la hoja de especificaciones técnicas de los paneles fotovoltaicos A-450M GS 144 de Atersa, éstos tienen una garantía de eficiencia de más del 80% durante 25 años, por lo que ésta será la vida útil que supondremos para la instalación. [Anexo 1. Especificaciones de producto: módulos fotovoltaicos A-450M GS 144 de Atersa]

Esta vida útil se alcanzará mediante una limpieza constante de los componentes, para evitar que se reduzca su eficiencia, así como un control y mantenimiento continuo de éstos, que permita solucionar averías rápidamente.

### 4.3.2 FINANCIACIÓN

La financiación se compondrá de un 100% de fondos ajenos mediante un préstamo bancario de 815.367,91 €. Se ha elegido un 100% de financiación ajena buscando crear un escenario lo más realista posible en el que no se puede asegurar la inversión de accionistas, tener una gran empresa de respaldo o contar con fondos propios suficientes para hacer frente a dicho gasto.

Se solicitará la cantidad de 815.367,91 € a 10 años a una entidad bancaria. Suponiendo un tipo de interés nominal anual fijo igual al Euribor actual [52], 3,8% y un sistema de amortización francés mensual sin comisión de apertura, se obtendrá un préstamo con las siguientes características. [Anexo 6. Simulación del préstamo bancario]

$$TAE = \left(1 + \frac{TIN}{f}\right)^f - 1 = \left(1 + \frac{3,8\%}{12}\right)^{12} - 1 = 3,87\%$$

Importe a financiar	815.367,91 €
Plazo	120 meses
Comisión de apertura	0%
TIN	3,8%
Mensualidad	8177,92 €
TAE	3,87%
Importe total adeudado:	981350,79€

*Tabla 15. Características del préstamo bancario*

### 4.3.3 COSTES DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

El coste de mantenimiento y operación anual de una instalación fotovoltaica flotante no es muy elevado, se estimará de algo menos del 1% del presupuesto inicial. En este apartado se incluirán los medios necesarios para el funcionamiento de la instalación. Será por tanto de 8.000 euros anuales.

# **CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE RENTABILIDAD ECONÓMICA**

## **Capítulo 5. ESTUDIO DE RENTABILIDAD ECONÓMICA**

### **5.1 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA**

#### **5.1.1 SIMULACIÓN CON PVGIS PARA UNA INSTALACIÓN TERRESTRE**

Para hallar la cantidad de energía generada mensual del sistema fotovoltaico, se realizará una simulación mediante PVGIS en las coordenadas del embalse de San José. Dicho software permite el cálculo de la generación de una instalación fotovoltaica en tierra. Posteriormente, se realizarán los ajustes necesarios para el cálculo de la generación de una instalación fotovoltaica flotante.

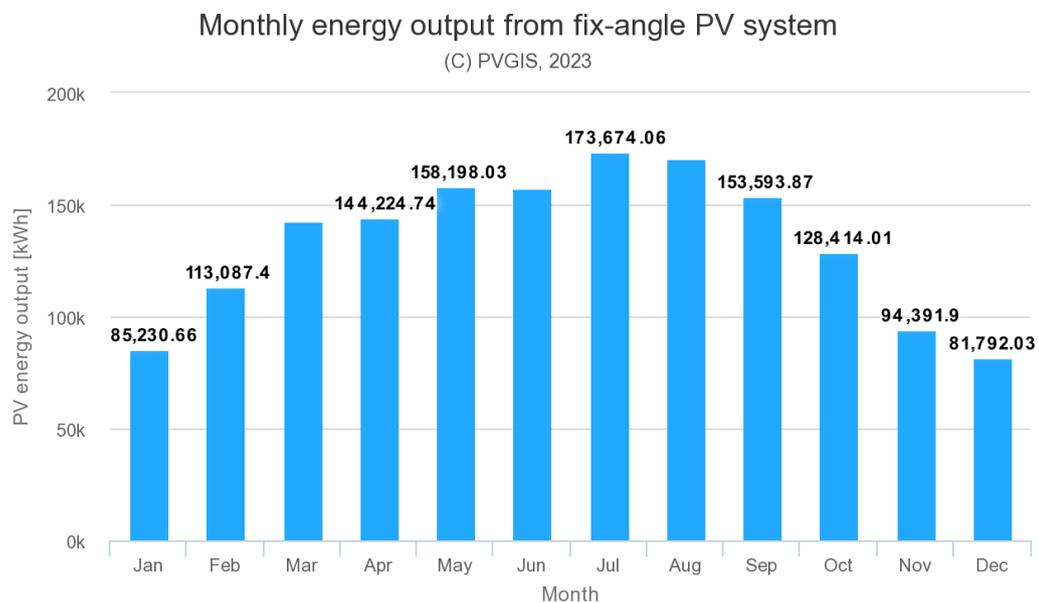
Los datos introducidos en PVGIS han sido:

Localización (Lat/Lon)	41.393, -5.259
Base de datos	PVGIS-SARAH2
Tecnología FV	Silicio Cristalino
Potencia PV instalada (kWp)	1.001
Pérdidas del sistema (%)	12

Los resultados obtenidos de la simulación de una instalación terrestre han sido los siguientes:

Ángulo de inclinación (°)	35
Ángulo de Acimut (°)	-6
Producción anual de energía PV (kWh/m <sup>2</sup> )	1603593.68
Irradiación anual (kWh)	2002.61
Pérdidas por el ángulo de incidencia (%)	-2.64
Efectos espectrales	0.55
Pérdidas por temperatura y baja irradiancia (%)	-7.14
Pérdidas totales	-20

*Ilustración 24 Resultados de la simulación con PVGIS*

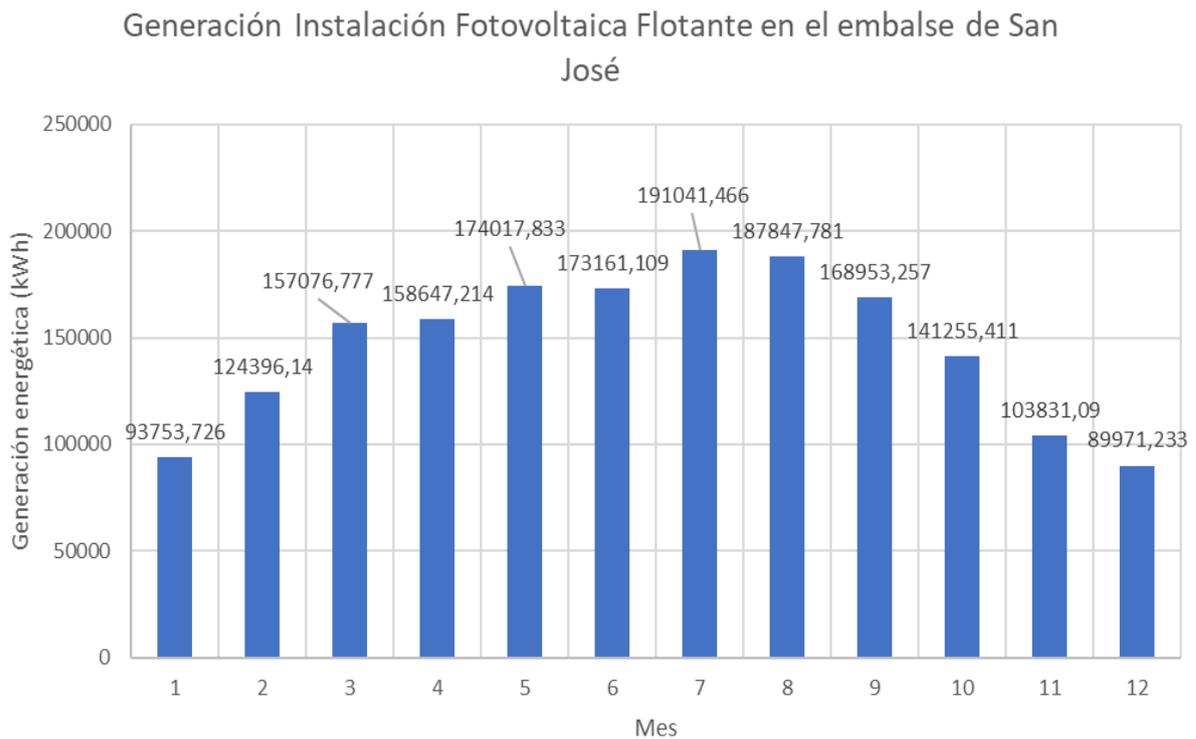


*Ilustración 25 Generación de una instalación fotovoltaica terrestre en las coordenadas del embalse de San José. PVGIS.*

Se estima, por tanto, una producción energética anual total de **1.603.593,67 kWh** para una instalación fotovoltaica terrestre.

### 5.1.2 GENERACIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA FLOTANTE

Como se explica en el apartado [2.3.3.3 Mejora del rendimiento], se estima que el rendimiento de una instalación fotovoltaica flotante es un 10% mayor que el de una terrestre. Por tanto, la generación de una instalación fotovoltaica flotante será la siguiente.



*Gráfico 9. Generación mensual de la instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José.*

La generación anual de la instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José será de **1.763.953,04 kWh**.

### 5.1.3 DIFERENCIA DE PRODUCCIÓN ENTRE INSTALACIÓN FLOTANTE Y TERRESTRE

La diferencia de generación obtenida en función de si la instalación fotovoltaica es terrestre o flotante, calculada en el apartado anterior, se puede observar en el siguiente gráfico.

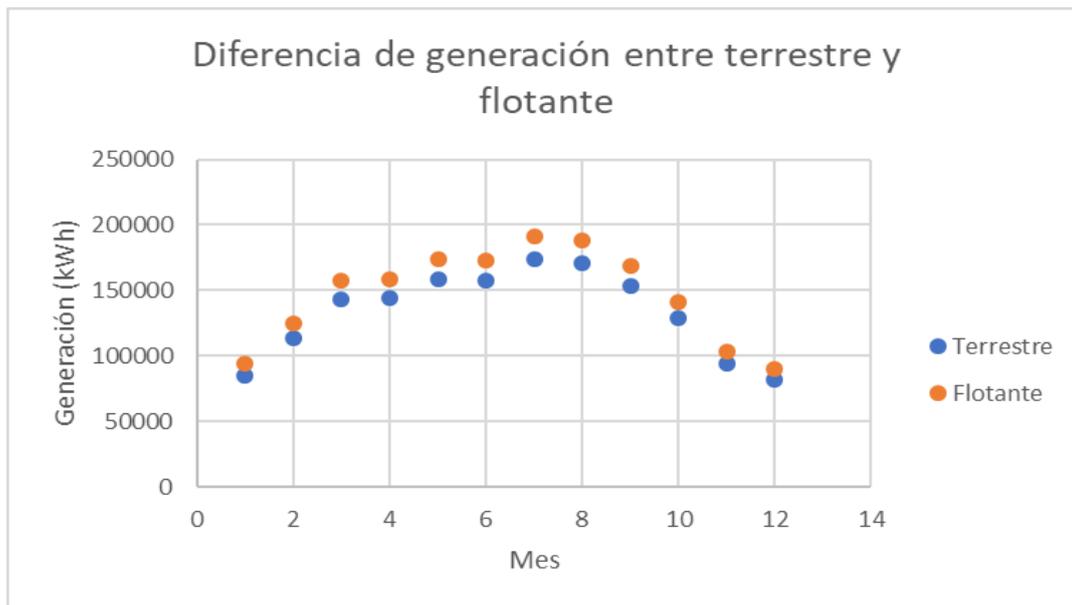


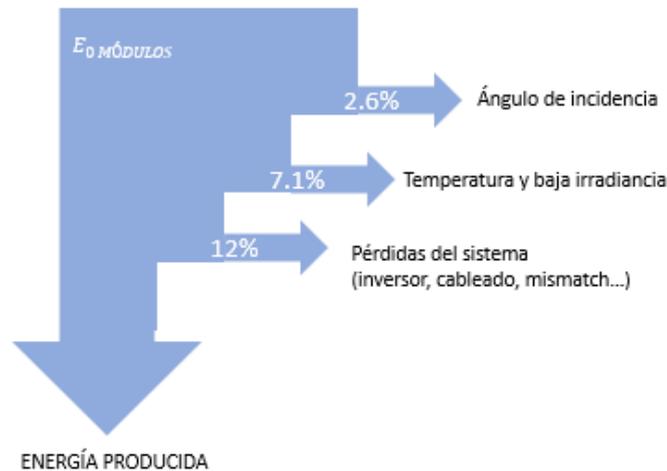
Gráfico 10. Diferencia de generación entre la fotovoltaica terrestre y flotante

Tipo de instalación	Producción (MWh)
Flotante	1.763,953
Terrestre	1.603,593
<b>Diferencia</b>	<b>160,359</b>

Tabla 16 Diferencia de producción absoluta (MWh) [Gráfico 10]

El mayor rendimiento que proporciona una instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José en comparación con la generación que se obtendría si la instalación fuera terrestre es de 160,359 MWh anuales. Dicha diferencia se verá reflejada en unos mayores beneficios y, por tanto, mayor rentabilidad.

### 5.1.4 PÉRDIDAS DEL SISTEMA



*Ilustración 26 Diagrama de Sankey de pérdidas de una instalación fotovoltaica. Elaboración propia. Datos obtenidos de simulación con PVGIS.*

De acuerdo con PVGIS, el cálculo de las pérdidas totales se realizará suponiendo las pérdidas como multiplicativas. Por tanto:

$$\text{Pérdidas totales: } 100 * (1 - (1 - 2.6\%)) * (1 - 7.1\%) * (1 - 12\%) = 20\%$$

La simulación de PVGIS tienen en cuenta estas pérdidas del sistema, que serán de **440 MWh** anuales para la instalación fotovoltaica flotante, obteniendo la generación ya calculada de 1.763,9 MWh anuales.

### 5.1.5 PÉRDIDA DE EFICIENCIA DE LOS MÓDULOS

De acuerdo con el fabricante de los paneles fotovoltaicos, Atersa, se produce una degradación anual de producción del 0,68%. Por tanto, la producción anual de los módulos fotovoltaicos a lo largo de los 30 años de vida útil del proyecto será la siguiente. [Anexo 1. Especificaciones de producto: módulos fotovoltaicos A-450M GS 144 de Atersa]

	Producción (kWh)		Producción (kWh)
Año 1	1.763.953,04	Año 14	1.614.225,71
Año 2	1.751.958,16	Año 15	1.603.248,98
Año 3	1.740.044,84	Año 16	1.592.988,18
Año 4	1.728.212,54	Año 17	1.582.155,86
Año 5	1.716.460,69	Año 18	1.571.397,20
Año 6	1.704.788,76	Año 19	1.560.711,70
Año 7	1.693.196,20	Año 20	1.550.098,86
Año 8	1.681.682,46	Año 21	1.539.558,19
Año 9	1.670.247,02	Año 22	1.529.089,20
Año 10	1.658.889,34	Año 23	1.518.691,39
Año 11	1.647.608,90	Año 24	1.508.364,29
Año 12	1.636.405,15	Año 25	1.498.107,41
Año 13	1.625.277,60		
<b>TOTAL</b>		<b>40.681.141,4</b>	<b>kWh</b>

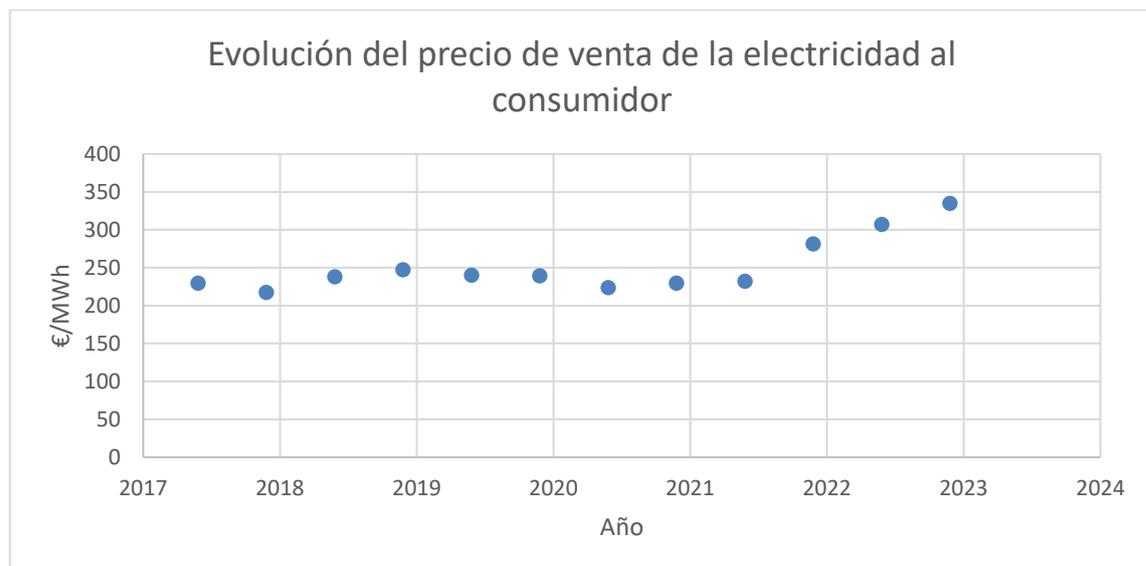
*Tabla 17 Generación energética anual (MWh)*

La producción total en los 30 años será de **40.681,14 MWh**

## 5.2 *MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL*

El Mercado Eléctrico Español es marginalista. Cada día se produce una subasta energética entre proveedores y compradores en la que se establecen los precios del día siguiente. Las ofertas de los proveedores precios se ordenan de forma ascendente con el algoritmo EUPHEMIA[53], formando la curva de oferta del mercado para cada hora y las ofertas de los compradores se ordenan decrecientemente, formando la curva de demanda. EUPHEMIA es un complejo algoritmo de método marginalista, utilizado en toda la Unión Europea, que analiza toda la información de oferta y demanda, aplica ciertos requisitos y realiza la casación de la oferta con la demanda. Por tanto, el precio de cada día se establece como el punto de intersección entre la curva de oferta y la de demanda; y el precio de venta al consumidor final será el anterior más los costes de potencia contratada, impuestos y costes reguladores.

La variación del precio de mercado desde 2017 se puede observar en el siguiente gráfico. [54] El precio medio de la electricidad ha sufrido un crecimiento a lo largo de los últimos años, alcanzando en Junio de 2022 0,2579 €/kWh y en Diciembre, 0,2966 €/kWh.



*Gráfico 11. Precio del Mercado Eléctrico en España Modificado de Datos Macro.[54]*

El reciente aumento de los precios se debe a factores como la subida del precio del gas provocado por la guerra entre Rusia y Ucrania, al aumento de la demanda energética de los consumidores, así como al incremento del coste de las emisiones de CO<sub>2</sub>. De ahí la importancia de encontrar nuevas fuentes de generación de energía a un menor coste.

### **5.3 RENTABILIDAD**

A la hora de analizar la rentabilidad del proyecto se utilizarán indicadores clave de rendimiento o KPI (*Key Performance Indicators*).

#### **5.3.1 PRECIO DE VENTA**

Para los siguientes cálculos se va a suponer un precio de venta de la energía constante a través de un PPA de energía. Un PPA o *Power Purchase Agreement* es un acuerdo o un contrato bilateral de compraventa de energía a largo plazo entre un proveedor de energía y el consumidor.[55] Un PPA ofrece un precio más bajo que el del mercado y la seguridad al proveedor y comprador de que se producirá la compraventa de energía.

De acuerdo con el informe *PPA Price Index del de LevelTen Energy*, el mayor mercado de contratos de compraventa de energía del mundo, el índice de precios de la energía solar del percentil 25 en el primer trimestre de 2023 alcanzó los 76,84€/MWh. [56] Este precio ha sufrido un gran crecimiento recientemente. Además, los PPA europeos alcanzaron los 88,88 €/MWh.

Se supondrá un precio de venta competitivo en el mercado y suficiente para que el proyecto sea rentable. El precio elegido será mucho menor que el precio actual de venta en el mercado, pero mayor al precio medio del percentil 25 de PPA en España, debido a que la instalación presenta una dimensión mucho menor que este tipo de empresas, aunque se mantendrá menor que el europeo. Se supondrá un precio de venta de 86€/MWh para futuros cálculos.

### 5.3.2 CUENTA DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS

A la hora de realizar los cálculos de rentabilidad, se utilizarán como base las siguientes cuentas de pérdidas y ganancias. Se trata de una cuenta de pérdidas y ganancias simplificada, tomando como base el informe de Auditoría de cuentas anuales de Solarpack realizado por Deloitte de 2019. [57]

CUENTA DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS (AÑO 1)	
TOTAL INGRESOS DE EXPLOTACIÓN	152.581,94
Gastos de explotación	
Gastos de personal	(28000)
Gastos de explotación	(8000)
Depreciación del inmovilizado	(18112,43)
TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN	(54112,43)
RESULTADO DE EXPLOTACION (ingresos-gastos)	98469,51
GASTOS FINANCIEROS	(98135,08)
RESULTADO ANTES DE IMPUESTOS	334,43
Impuestos sobre el beneficio (21%)	(66,89)
RESULTADO DEL EJERCICIO	267,54

*Tabla 18 Estimación de Pérdidas y Ganancias del Año 1*

#### 5.3.2.1 EBITDA

Se trata de una medida financiera utilizada para evaluar el desempeño de una empresa y corresponde a las ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización.

$$EBITDA = 116.581,94\text{€}$$

### 5.3.2.2 EBIT

Medida financiera de las ganancias antes de intereses e impuestos

$$EBIT = 98.469,51€$$

CUENTA DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS (AÑO 11)	
TOTAL INGRESOS DE EXPLOTACIÓN	142.518,1692
Gastos de explotación	
Gastos de personal	(28.000)
Gastos de explotación	(8.000)
Depreciación del inmovilizado	(18.112,43)
TOTAL GASTOS DE EXPLOTACIÓN	(54.112,43)
RESULTADO DE EXPLOTACION	88.405,74
GASTOS FINANCIEROS	0,00
RESULTADO ANTES DE IMPUESTOS	88.405,74
Impuestos sobre el beneficio	(22.101,44)
RESULTADO DEL EJERCICIO	66.304,31

Tabla 19. Estimación de Pérdidas y Ganancias del año XX11

$$EBITDA = 106.518,169€$$

$$EBIT = 88.405,74€$$

### 5.3.3 LCOE

El LCOE o *Levelized Cost of Energy* proporciona una métrica del coste por kilovatio hora.

Este parámetro contabiliza todos los costes que tiene la instalación a lo largo de su vida útil (inversiones, operación y mantenimiento, desmantelamiento, depreciación) y lo divide entre la producción de energía total, y posteriormente lo actualiza a valor presente.

Se calcula como:

$$LCOE \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) = \frac{\sum_{\text{año } 1}^{\text{año final}} \frac{I_{\text{anual}} + M_{\text{anual}} + F_{\text{anual}}}{(1+r)^{\text{año}}}}{\sum_{\text{año } 1}^{\text{año final}} \frac{E_{\text{anual}}}{(1+r)^{\text{año}}}}$$

Donde:

- $I_{\text{anual}}$  = Estimación de la inversión de un año determinado
- $M_{\text{anual}}$  = Estimación de los costes de operación y mantenimiento de un año determinado
- $F_{\text{anual}}$  = Estimación de los costes de combustible de un año determinado
- $E_{\text{anual}}$  = Estimación de la energía generada en un año determinado
- $r$  = tasa de descuento (4%)

AÑO	PRODUCCIÓN (kWh)	COSTES (€)	$\sum_{\text{año } 1}^{\text{año final}} \frac{I_{\text{anual}} + M_{\text{anual}} + F_{\text{anual}}}{(1+r)^{\text{año}}}$	$\sum_{\text{año } 1}^{\text{año final}} \frac{E_{\text{anual}}}{(1+r)^{\text{año}}}$
0	0,00	0,00		
1	1.763.953,04	152.247,51	146.391,83	1.696.108,69
2	1.751.958,16	152.247,51	140.761,38	1.619.783,80
3	1.740.044,84	152.247,51	135.347,48	1.546.893,53
4	1.728.212,54	152.247,51	130.141,81	1.477.283,32
5	1.716.460,69	152.247,51	125.136,35	1.410.805,57
6	1.704.788,76	152.247,51	120.323,42	1.347.319,32
7	1.693.196,19	152.247,51	115.695,59	1.286.689,95
8	1.681.682,46	152.247,51	111.245,76	1.228.788,90
9	1.670.247,02	152.247,51	106.967,08	1.173.493,40
10	1.658.889,34	152.247,51	102.852,96	1.120.686,20
11	1.647.608,89	54.112,43	35.150,40	1.070.255,32
12	1.636.405,15	54.112,43	33.798,46	1.022.093,83
13	1.625.277,60	54.112,43	32.498,52	976.099,61
14	1.614.225,71	54.112,43	31.248,58	932.175,12
15	1.603.248,97	54.112,43	30.046,71	890.227,24
16	1.592.346,88	54.112,43	28.891,07	850.167,02
17	1.581.518,92	54.112,43	27.779,87	811.909,50
18	1.570.764,59	54.112,43	26.711,42	775.373,58
19	1.560.083,40	54.112,43	25.684,05	740.481,76
20	1.549.474,83	54.112,43	24.696,21	707.160,08
21	1.538.938,40	54.112,43	23.746,35	675.337,88
22	1.528.473,62	54.112,43	22.833,03	644.947,68
23	1.518.080,00	54.112,43	21.954,84	615.925,03
24	1.507.757,05	54.112,43	21.110,42	588.208,40
25	1.497.504,31	54.112,43	20.298,48	561.739,03
<b>TOTAL</b>			<b>1.641.312,08</b>	<b>25.769.953,76</b>
	<b>LCOE</b>		<b>0,06369</b>	<b>€/kWh</b>

*Tabla 20 Cálculo del LCOE. Elaboración propia.*

El coste medio ponderado global de la energía o LCOE del proyecto será por tanto de **63,69 €/MWh**.

De acuerdo con el banco de inversión francés Lazard, el LCOE de la energía fotovoltaica oscila entre 24 \$/MWh y 96 \$/MWh en 2023 [58], es decir, entre 21,82€/MWh y 87,27€/MWh aproximadamente. Por tanto, se puede observar que el LCOE obtenido en este proyecto es competitivo por lo que puede suponer beneficios económicos si se lleva a cabo.

### 5.3.4 VAN

El Valor Actual Neto o VAN de un proyecto es la suma de los valores actuales de todos los flujos de carga esperados de dicho proyecto. Por tanto, si la suma de flujos de caja esperados actualizados es mayor que el desembolso inicial, se estará creando valor y si, por el contrario, es menor que el desembolso inicial, se estará destruyendo valor. Si es nulo, ni se crea ni se destruye valor.

$$VAN = -A + \sum_{n=1}^{n=N} \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

Donde

A: desembolso inicial

$F_n$ : flujo de carga generado en cada periodo, diferencia entre ingresos y costes

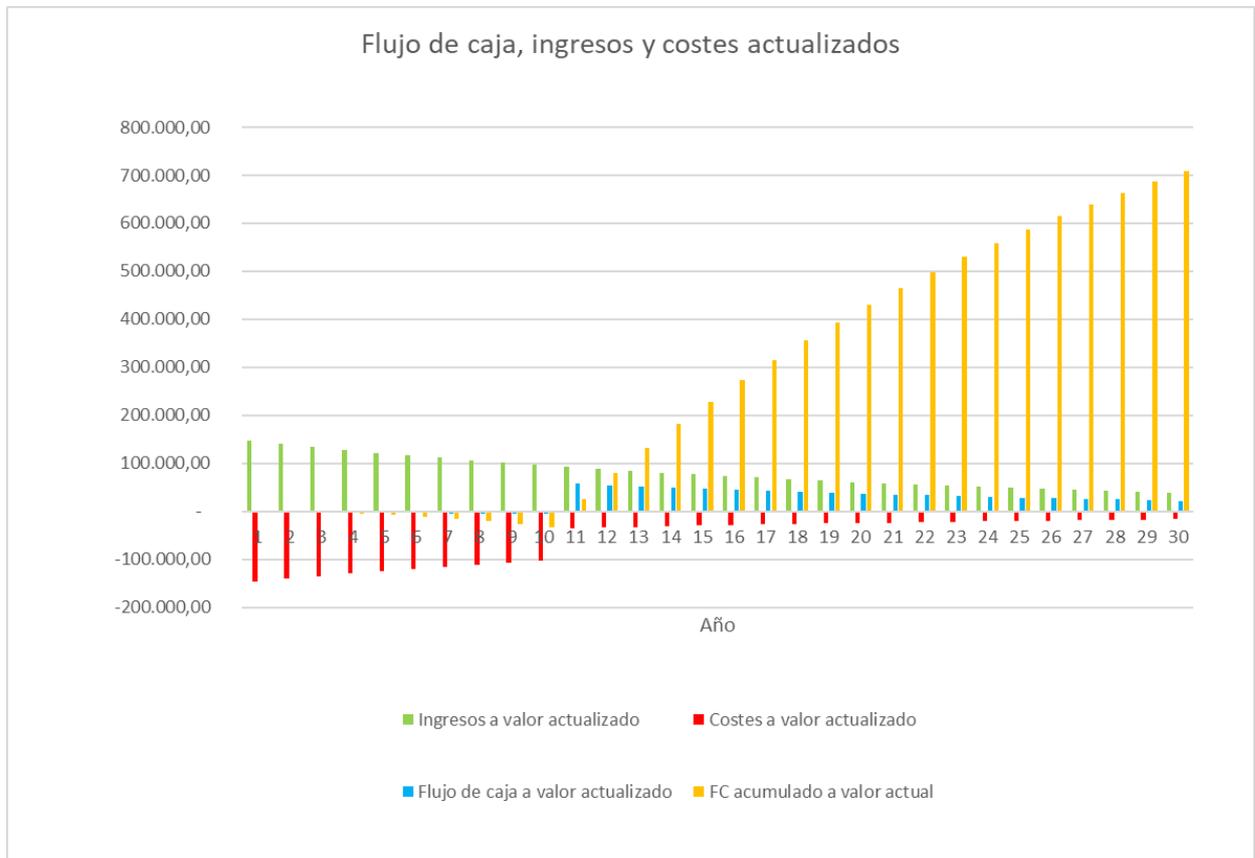
I: tasa de descuento o coste de oportunidad (4%)

N: vida útil del proyecto

AÑO	PRODUCCIÓN (kWh)	COSTES A VALOR ACTUAL	INGRESOS A VALOR ACTUAL	FLUJO DE CAJA A VA	FC ACUMULADO A VA
-	-	-	-	-	-
1	1.763.953,04	-146.459,14	146.713,40	254,26	254,26
2	1.751.958,16	-140.826,10	140.111,30	-714,80	-460,54
3	1.740.044,84	-135.409,71	133.806,29	-1.603,42	-2.063,96
4	1.728.212,54	-130.201,64	127.785,01	-2.416,64	-4.480,60
5	1.716.460,69	-125.193,89	122.034,68	-3.159,21	-7.639,80
6	1.704.788,76	-120.378,74	116.543,12	-3.835,62	-11.475,42
7	1.693.196,19	-115.748,79	111.298,68	-4.450,11	-15.925,53
8	1.681.682,46	-111.296,91	106.290,24	-5.006,67	-20.932,20
9	1.670.247,02	-107.016,26	101.507,18	-5.509,08	-26.441,28
10	1.658.889,34	-102.900,25	96.939,36	-5.960,89	-32.402,17
11	1.647.608,89	-35.150,40	92.577,09	57.426,68	25.024,51
12	1.636.405,15	-33.798,46	88.411,12	54.612,65	79.637,16
13	1.625.277,60	-32.498,52	84.432,62	51.934,09	131.571,26
14	1.614.225,71	-31.248,58	80.633,15	49.384,57	180.955,83
15	1.603.248,97	-30.046,71	77.004,66	46.957,95	227.913,77
16	1.592.346,88	-28.891,07	73.539,45	44.648,38	272.562,15
17	1.581.518,92	-27.779,87	70.230,17	42.450,30	315.012,45
18	1.570.764,59	-26.711,42	67.069,81	40.358,40	355.370,85
19	1.560.083,39	-25.684,05	64.051,67	38.367,62	393.738,47
20	1.549.474,83	-24.696,21	61.169,35	36.473,14	430.211,61
21	1.538.938,40	-23.746,35	58.416,73	34.670,38	464.881,98
22	1.528.473,62	-22.833,03	55.787,97	32.954,94	497.836,93
23	1.518.080,00	-21.954,84	53.277,52	31.322,68	529.159,61
24	1.507.757,05	-21.110,42	50.880,03	29.769,61	558.929,21
25	1.497.504,31	-20.298,48	48.590,43	28.291,94	587.221,16
<b>TOTAL</b>	<b>40.681.141,35</b>	<b>-1.641.879,84</b>	<b>2.229.101,00</b>		
	<b>VALOR ACTUAL NETO</b>			<b>587.221,16</b>	

*Tabla 21 Flujo de caja y cálculo del VAN. Elaboración propia.*

El valor actual neto de la inversión es de **708.912,2€**. El VAN es positivo, por lo que se concluye que el proyecto crea valor y, por tanto, es rentable. Se puede observar la evolución a lo largo de la vida útil en este gráfico.



*Gráfico 12. Evolución de los costes, ingresos y flujo de cargas actualizados del proyecto (€)*

### 5.3.5 TIR

La Tasa Interna de Retorno de la inversión realizada o TIR es una medida de la rentabilidad de un proyecto.

El TIR muestra el tipo de interés necesario para que el VAN sea cero. Si el TIR es menor que la tasa de descuento, la inversión no será económicamente rentable; y si es mayor, será rentable. Se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Ecuación 11} \quad VAN = -A + \sum_{n=1}^{n=N} \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

TIR	43%
-----	-----

Puesto que la tasa de retorno es del 43%, mayor que la tasa de descuento, desde el punto de vista económico, la inversión será rentable. Se cumple, por tanto, la conclusión extraída del análisis del VAN.

### 5.3.6 ROI

El retorno de la inversión o ROI (Return on Investment) es un KPI que permite saber la proporción entre el capital obtenido y el invertido y se calcula como:

$$ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

El ROI de la inversión, utilizando los datos a valor actualizado de la tabla [Flujo de caja y cálculo del VAN. Elaboración propia.] será:

ROI	35,77%
-----	--------

Un resultado de un ROI positivo indica que el proyecto es rentable por lo que generará beneficios.

### 5.3.7 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

El Payback o Periodo de Recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide cuándo empezará a ser rentable un proyecto. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Donde

a: año anterior inmediato al que se recupera la inversión

b: inversión inicial del negocio

c: Flujo de efectivo acumulado del año anterior inmediato al que se recupera la inversión

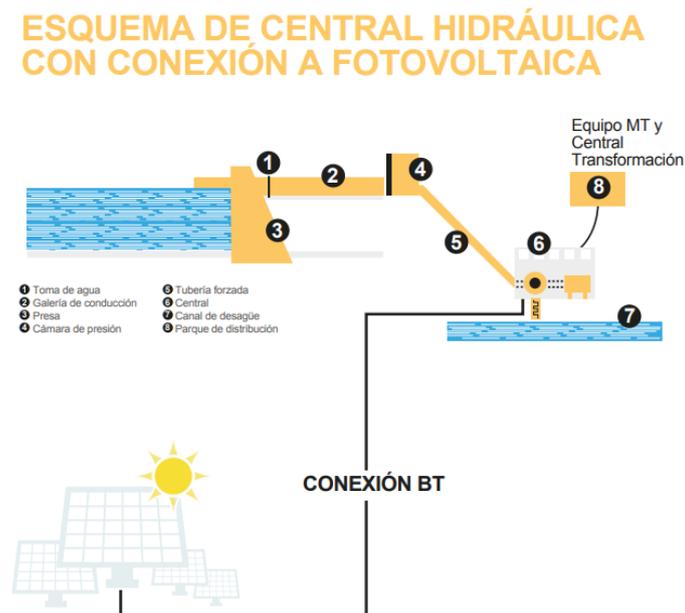
d: flujo de efectivo del año exacto en el que se recupera la inversión

Utilizando los valores de la tabla [Flujo de caja y cálculo del VAN. Elaboración propia.] obtenemos el siguiente PRI para la instalación estudiada:

Payback o PRI	11 años
---------------	---------

#### **5.4 POSIBILIDAD DE HIBRIDACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

En este proyecto se presenta la posibilidad de hibridar la generación de energía de manera que se optimice la generación tanto hidráulica como la fotovoltaica flotante.



*Ilustración 27 Esquema de hibridación entre central hidráulica y fotovoltaica. [59]*

La hibridación energética se realizaría entre la actual central de la presa de San José, que genera energía hidráulica; y la instalación fotovoltaica flotante en el embalse, que se presenta en este proyecto.

El embalse de San José actualmente cuenta con una central hidráulica con las siguientes características.

Central Hidráulica	Embalse de San José, Castronuño
Potencia	4.900MW
Generación anual	13.442 MWh

*Tabla 22. Características de la Central Hidráulica del embalse*

La hibridación de energías presenta dos ventajas principales, es una forma de estabilizar el consumo a lo largo del año y permite el almacenamiento de energía como energía potencial.

#### **5.4.1 HIBRIDACIÓN PARA ESTABILIZAR EL SUMINISTRO**

La primera ventaja que ofrece la hibridación es la estabilización de la generación energética ya que, para cada tipo de energía se producen picos y valles en distintas épocas de año, que se verán compensados al combinarlos.

Suponiendo que la curva de generación en la presa de San José es proporcional a la curva de generación hidráulica de Castilla y León proporcionada por la base de datos de Red Eléctrica [60] y sabiendo que la generación actual anual de dicha central hidráulica es de 13.442 MWh, de acuerdo con un informe de la Junta de Castilla y León [Anexo. Fragmento Resumen Anual Generación Hidráulica en Castilla y León. [61]], se llega a la siguiente tabla estimada de generación hidráulica de la presa.

<b>Mes</b>	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>Generación (MWh)</b>	1627,55	683,84	1195,57	1183,93	1135,18	708,33
<b>Mes</b>	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Generación (MWh)</b>	941,33	835,66	1789,03	322,93	754,21	2264,46

Tabla 23. Estimación de la Generación hidráulica de la Presa de San José. Elaboración propia.

La generación eléctrica en una planta fotovoltaica flotante es mayor cuanto mayor es la radiación del sol recibida y alcanza su máximo en los meses de verano y sus mínimos en invierno. [Gráfico 9. Generación mensual de la instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José.] La curva hidroeléctrica, por el contrario, produce menos en verano, cuando la cantidad de agua embalsada es menor, y alcanza sus máximos entre diciembre y enero por el aumento de las precipitaciones. Esto hace que este tipo de instalaciones sean compatibles y beneficiosas a la hora de compensar su generación energética a lo largo del año.

En el caso del embalse de San José, la producción energética tras la hibridación se muestra en la siguiente gráfica.

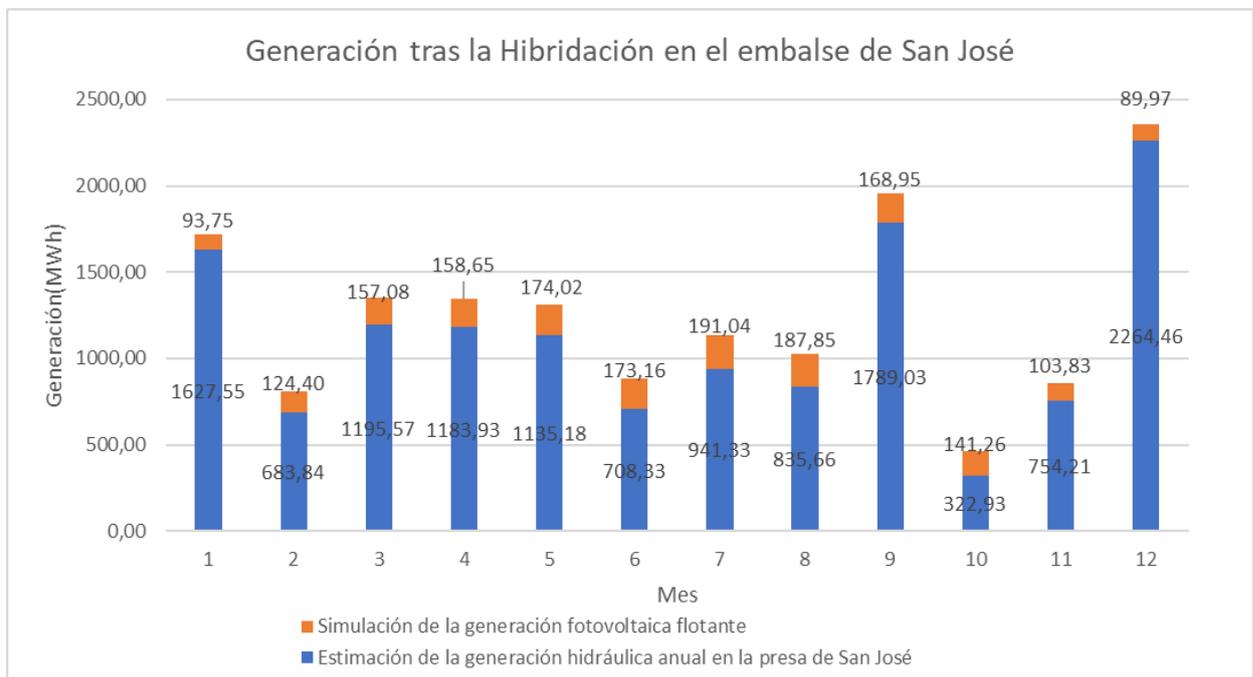


Gráfico 13. Generación tras la hibridación en el embalse de San José

La proporción de energía fotovoltaica es muy baja en comparación con la hidráulica, el efecto de compensación en meses máximos y mínimos no es demasiado alto.

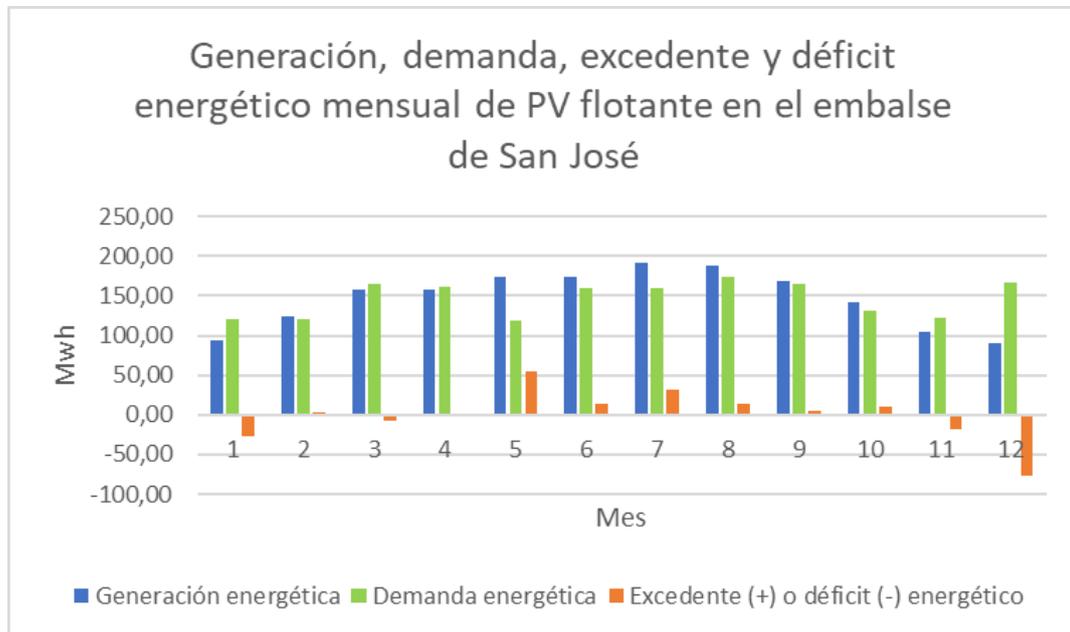
#### 5.4.2 HIBRIDACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

La segunda ventaja que presenta la hibridación es como forma de almacenamiento de la energía fotovoltaica. La energía fotovoltaica sobrante en cada momento puede utilizarse para bombear agua en sentido contrario a la presa, convirtiendo la energía eléctrica en potencial. Cuando la demanda energética sea mayor a la generada en la central fotovoltaica flotante, se convertirá la energía potencial del agua en cinética abriendo las compuertas de la presa y, a través de las 3 turbinas Kaplan de 266 kW y la turbina SemiKaplan de 1.460 kW que posee la central, se transformará en eléctrica de nuevo.

Suponiendo una curva de demanda de la instalación fotovoltaica flotante proporcional a la curva de consumo anual de 2022 proporcionada por Red Eléctrica y que la demanda total es igual a la generación total obtenemos la siguiente tabla.

Mes	Generación (MWh)	Demanda (MWh)	Excedente(+) o Déficit(-) energético
1	93,75	120,17	-26,42
2	124,40	121,41	2,98
3	157,08	165,22	-8,14
4	158,65	160,89	-2,25
5	174,02	118,82	55,20
6	173,16	159,36	13,81
7	191,04	160,08	30,96
8	187,85	174,34	13,51
9	168,95	164,63	4,32
10	141,26	130,36	10,90
11	103,83	121,62	-17,79
12	89,97	167,06	-77,09

Tabla 24. Generación, demanda, excedente y déficit energético de la fotovoltaica flotante



*Gráfico 14. Generación, demanda, excedente y déficit energético de la fotovoltaica flotante*

Como se puede observar, el déficit energético corresponde con los períodos en los que la generación hidráulica es mayor y los períodos de excedente energético corresponden con la época del año en la que menos energía hidráulica se produce. En estos momentos, podrá bombearse agua con el exceso de energía fotovoltaica producida que se almacenará hasta que sea necesaria para igualar la demanda.

## 5.5 RESUMEN

Los valores obtenidos en el análisis de rentabilidad se recogen en la siguiente tabla.

Potencia instalada	Generación anual	LCOE	VAN (25 años)	TIR	ROI	PRI o payback	Almacenamiento de energía
1,001 MWp	1.763,95 MWh	61,36 €/MWh	708.912,20 €	43%	35,77%	11 años	Hibridación hidráulica-fotovoltaica

*Tabla 25. Resumen del Análisis de la rentabilidad*

Además, es importante realizar dos aclaraciones principales sobre el análisis realizado.

Es importante destacar en el análisis de rentabilidad, que el precio de venta, de 86€/MWh se ha elegido buscando ser el más bajo posible para beneficiar a los consumidores de la zona de Castronuño. Sin embargo, este precio tiene un margen muy alto de crecimiento pues el precio actual del mercado alcanzó los 299€/MWh [54] y podría aumentarse en el caso de que los costes fueran mayores que los estimados o se buscara un mayor beneficio económico.

Por otro lado, cabe destacar que no se han tenido en cuenta ninguna subvención del Gobierno o de la Unión Europea. Esto se debe a que se ha tenido como objetivo alcanzar un diseño rentable por sí solo, que no dependa de ayudas. En primer lugar, porque, a pesar de que existen subvenciones para las instalaciones fotovoltaicas terrestres, aún no se tienen muchos datos de instalaciones fotovoltaicas flotantes. En segundo lugar, porque tener en cuenta las ayudas no da una información de valor para el futuro en el que el objetivo debe ser que este tipo de proyectos sean rentables por sí mismos, para aumentar el número de instalaciones.

# **CAPÍTULO 6: ENTRADA EN EL MERCADO E IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL**

## **Capítulo 6. ENTRADA EN EL MERCADO E IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL**

### **6.1 ESTRATEGIA DE ENTRADA EN EL MERCADO**

Como se explica en el punto [5.3.1], la estrategia de venta de la energía será a través de un *Power Purchase Agreement* (PPA). Este tipo de acuerdos ofrece una ventaja competitiva al proveedor, que ofrece la energía a un precio constante y más bajo que el mercado durante un período estipulado de tiempo; así como la seguridad tanto al proveedor como al comprador de que se producirá la compraventa de energía. El precio supuesto en este trabajo, teniendo en cuenta las circunstancias globales y el actual incremento de precio que está sufriendo el mercado energético ha sido de 86€/MWh.

La media de energía anual de nuestra instalación es de 1.627,24 MWh y a continuación se muestran algunos ejemplos de los ejemplos que forman nuestro nicho de mercado.

#### **6.1.1 BODEGAS DE RIVERA, RUEDA Y TORO**

Nuestro principal mercado objetivo o *target market* serán asociaciones vinícolas de la zona de Castronuño.

La Asociación Empresarial de Bodegas Ribera del Duero (Asebor), la asociación de Bodegas Elaboradas de Rueda (Asber) y la Asociación de Bodegas de Toro (Fomentoro) han indicado en un manifiesto su “malestar” ante la continua subida de precios de la energía y han solicitado a la Junta de Castilla y León medidas para reducir esta escalada de precios. [62] Estas Asociaciones están conformadas por alrededor de 74 bodegas repartidas principalmente entre las provincias de Valladolid y Burgos.

Una de las bodegas más importante de nuestro nicho de mercado será la de Muelas, en el propio Castronuño, de Denominación Rueda.

El consumo medio de energía eléctrica una bodega para una producción de 1.200.000 litros de vino es de 250.000 kWh al año. [63] Suponiendo que el acuerdo de PPA con las bodegas es de un suministro del 33,33% de su energía, se podrá suministrar energía no contaminante y a menor precio que el de mercado a alrededor de 20 bodegas que formen parte de estas Asociaciones anualmente.

El descontento de dichas Bodegas ante la subida de precios es una oportunidad de negocio para una instalación fotovoltaica flotante como la descrita en este proyecto. El actual precio del mercado energético español es mucho mayor al que se ofrece en este trabajo por lo que las posibilidades de que estas tres Asociaciones de Bodegas estén conformes a firmar un PPA son muy elevadas.

Además, un acuerdo que beneficie a estas bodegas es una contribución a la economía de un producto de calidad, como es el vino español, y que contribuye al desarrollo del medio rural de nuestro país.

### **6.1.2 AYUNTAMIENTOS DE CASTRONUÑO Y VALLADOLID**

El consumo de energía de 2022 del Ayuntamiento de Valladolid fue de 58.500 MWh al año. Este consumo se reparte entre las diferentes dependencias municipales. [64] En este proyecto nos centraremos en el consumo energético del alumbrado público, que corresponde al 60% del consumo total del ayuntamiento.

Por otro lado, se ha querido incluir al ayuntamiento de Castronuño como beneficiario de un menor precio de energía por estar el embalse en su territorio. El porcentaje de población de Castronuño es el 0,3% de la población de Valladolid, de acuerdo con los datos del Eurostat. Por tanto, se supondrá su consumo energético proporcional, de 168,5 MWh al año.

La demanda energética total para el alumbrado público de ambos ayuntamientos en conjunto será de 35.201,1 MWh anuales.

Por tanto, se puede generar el 5% del consumo energético del alumbrado público de los ayuntamientos. Un precio de 86€/MWh supondría un ahorro económico para los

ayuntamientos si se compara con el precio del mercado energético actual, además de promover la generación energética sostenible.

### **6.1.3 ELECTRO INTENSIVAS**

Las electro-intensivas son empresas que utilizan electricidad como principal suministro para su funcionamiento. Este tipo de empresas han sufrido en gran medida la subida de los precios de la energía debida al contexto internacional en el que nos encontramos, por tanto podrían estas abiertas a acuerdos de compraventa de energía fotovoltaica flotante a menor precio.

Las principales electro-intensivas corresponden al sector del hierro y acero, el papel o el aluminio.

En la provincia de Valladolid se encuentra un gran número de este tipo de empresas, lo que la llevó ser la provincia de Castilla y León con mayor gasto energético, el 20,4% de la energía consumida en la Comunidad Autónoma en 2021. [65]

En Valladolid, dos de las electro-intensivas más grandes y que más han sufrido la subida de precios son Lingotes Especiales y Fundiciones Arias, de Medina de Rioseco. Ambas son grupos industriales dedicados al diseño, desarrollo, fundición, mecanizado y montaje de piezas metálicas.

El alto consumo energético de este tipo de fábricas es causado por el consumo de los hornos de inducción, que corresponden al 85% del consumo de la fábrica ya que la cantidad de energía necesaria por tonelada de metal fundido (hierro, acero o aluminio) varía entre 550 y 625 kWh. Tomando como base el estudio de Rojas, L. [66] el consumo energético de una fábrica de fundición con 3 hornos de inducción es de aproximadamente 30.000 kWh/mes. Se alcanzará un total de 360.000 kWh anuales. Suponiendo, de nuevo, que los acuerdos con estas empresas serán para producir el 33,3% de la energía anual que consumen, se puede suministrar electricidad a 14 electro intensivas anualmente.

## 6.2 EMISIONES EVITADAS

La producción eléctrica de la planta fotovoltaica se realiza en baja tensión en los módulos por lo que utilizaremos un coeficiente de 4,05 TCO<sub>2</sub>/tep para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono evitadas en función de las toneladas equivalentes de petróleo evitadas, cuyo coeficiente es de 0,2 tep/MWh. Se considerará que un árbol captura en su ciclo vital una media de 4 toneladas al año de CO<sub>2</sub> para calcular la equivalencia de árboles plantados. [49] Por tanto las emisiones evitadas serán las siguientes.

Producción anual (MWh)	Toneladas equivalentes de petróleo evitadas	Toneladas de CO <sub>2</sub> evitadas	Equivalencia de número de árboles plantados
1763,95	352,79	1428,80	357,2

*Tabla 26 Emisiones evitadas. Elaboración propia.*

## 6.3 REDUCCIÓN DE LA EVAPORACIÓN

A la hora de calcular la reducción de la evaporación, se tendrá en cuenta lo siguiente.

- Se tomará como referencia estudio llevado a cabo por López Moreno, J del CSIC en el Pirineo, donde se concluyó que el porcentaje de agua evaporada es aproximadamente del 6% del volumen total del agua embalsada. [67]
- El sistema de Isifloating reduce la evaporación de la superficie que cubre alrededor de un 85%. [68]
- La superficie cubierta por los flotadores primarios y secundarios, suponiendo unas medidas de los flotadores de 2,5 x 1,5 m y una cantidad total de flotadores de 3335 unidades, es aproximadamente de 12.506,25 m<sup>2</sup>.

La reducción de la evaporación se calculará como:

$$\text{Reducción de la evaporación} = E\% * V_{embalse} * \frac{A_{cubierta}}{A_{embalse}} * R\%$$

Se utilizarán los siguientes datos. [Tabla 3]

$A_{embalse}$ : Superficie total del Embalse ( $m^2$ )	1.920.000,00
$V_{embalse}$ : Volumen total del embalse ( $m^3$ )	5.500.000,00
$A_{cubierta}$ : Superficie cubierta por flotadores ( $m^2$ )	12.506,25
A%: Porcentaje de superficie cubierta (%)	1,38%
E%: Porcentaje de evaporación medio	6%
R%: Porcentaje de reducción de la evaporación (Isifloating)	85%

*Tabla 27 Datos utilizados para el cálculo de la reducción de la Evaporación*

El ahorro de agua que no se evaporaría si se cubre parte del embalse es de  $3.565 m^3$  equivalente a 3.565.000 litros de agua anualmente.

Considerando que el consumo medio de agua de los hogares españoles en 2020 fue de 133 l por habitante y día, de acuerdo con Statista, dicho ahorro equivaldría al consumo anual de 75 habitantes, alrededor del 8,8% de la población de Castronuño. Para la central, el volumen de agua no evaporado no supone un ahorro significativo dado su volumen total del agua; sin embargo, este ahorro beneficia a los individuos dependientes de este embalse como son los hogares de la zona, las comunidades de regantes o la industria.

## **6.4 GENERACIÓN DE EMPLEO**

Una instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José, Castronuño, es un foco creador de empleo a distintos niveles durante los 25 años que se han estimado de vida útil.

A la hora de analizar la creación de empleo, se analizan los eslabones que forman las principales actividades desde la cadena de valor.



*Ilustración 28 Cadena de Valor [49]*

A partir del plan estratégico de una instalación fotovoltaica de Falck Power [49] y de los datos de IRENA, se ha realizado una estimación de los empleos creados a tiempo completo, suponiendo que un cuarto son fijos y el resto varían en función de la generación. El 83% de los empleos se concentrarán únicamente en el primer año, el 5,5% se darán durante los 25 años siguientes y el resto corresponderán a la fase de desmantelamiento. Los empleos serán tanto directos como indirectos.

Entre los empleos generados destacan técnicos y operarios, ingenieros, personal administrativo y expertos como legales, financieros, de medio ambiente o de control y calidad. Se incluyen tanto empleos directos como indirectos.

Actividad	Empleos generados			
	Año 0	Años 1-24	Año 25	Total
Fabricación de equipos	18	0	0	23
Distribución	3	0	0	3
Diseño	2	0	0	2
Construcción e instalación	6	0	0	6
O&M	1	2	0	3
Desmantelamiento	0	0	4	3
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>36</b>

*Tabla 28 Desglose de empleos por eslabón de la cadena de valor*

Se calcula, por tanto, que se generarán 36 empleos a lo largo de toda la vida del proyecto.

## 6.5 RESUMEN

Estrategia de entrada en el mercado		Emisiones evitadas			Reducción de la evaporación	Generación de empleo
Estrategia de venta	Nicho de mercado	Toneladas equivalentes de petróleo evitadas	Toneladas de CO2 evitadas	Equivalencia de número de árboles plantados		
PPA	Bodegas Ayuntamientos Electrointensivas	352,79	1.428,8	357,2	3.565.000 litros/año	36 empleos

*Tabla 29. Resumen*

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES**

## Capítulo 7. CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha estudiado la posibilidad de realizar una instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José, situado en Castronuño, Valladolid.

En primer lugar, se ha realizado un estudio de este tipo de instalaciones, de su evolución a lo largo de la historia, del tipo de componentes necesarios, así como de las ventajas que ofrecen frente a las instalaciones fotovoltaicas terrestres convencionales, entre las que destacan un mayor rendimiento, debido al enfriamiento de los paneles solares que reduce las pérdidas energéticas; la reducción de la cantidad de agua evaporada ya que al cubrir el embalse se reduce la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie de agua; o el consumo mínimo del suelo que ofrecen, que permite liberar terrenos para otras actividades como la agricultura.

La elección del emplazamiento se ha realizado tras un estudio de radiación y climatológico, concluyendo que la cantidad de energía generada sería suficiente para satisfacer la demanda de la zona. La segunda razón de la elección del emplazamiento es a que se trata de una zona en la que la industria y las actividades rurales han sufrido el impacto del aumento del precio de la energía eléctrica.

En segundo lugar, se ha realizado el diseño técnico de la instalación, cuya potencia pico será de 1.001,25 kWp. Los principales componentes de la instalación se detallan a continuación. La instalación estará compuesta por 124 strings de entre 17 y 18 módulos cada uno, formando un total de 2.223 módulos fotovoltaicos monocristalinos A-450 GS 144 del proveedor valenciano Atersa. En segundo lugar, se han seleccionado 8 inversores trifásicos Huawei Sun2000 115 KTL. El sistema de flotación consistirá en 3.335 flotadores Isifloating de Isigenere. El sistema de anclaje estará compuesto por 55 dados de hormigón en el fondo del embalse, que evitará el movimiento horizontal de la instalación. Por último, se ha diseñado la instalación en tierra incluyendo casetas de mantenimiento y operaciones, cajas de agrupación y otros elementos necesarios. Los componentes se han elegido atendiendo a criterios de eficiencia, rendimiento, vida útil y compatibilidad.

En tercer lugar, se ha realizado un análisis de rentabilidad económica utilizando los principales KPI o indicadores de rendimiento, los resultados se recogen en la siguiente tabla.

LCOE	VAN	TIR	ROI	Payback
63,69 €/MWh	708.912,20 €	43%	35,77%	11 años

*Tabla 30. Resumen de los principales KPIs.*

El primer KPI utilizado, el LCOE nos da una medida de los costes por unidad de energía generada, de 63,69 €/MWh. De acuerdo con el banco de inversión francés Lazard, el LCOE de la energía fotovoltaica oscila entre 21,82€ y 87,27€. Por tanto, se puede concluir que el LCOE obtenido en este proyecto es competitivo y llevarlo a cabo puede suponer beneficios económicos.

El VAN y el TIR son medidas de rentabilidad. Un valor actual neto positivo, de 708.912,20€ y una tasa interna de retorno, del 43% mayor que la tasa de interés, suponen que se trate de un proyecto rentable a largo plazo, con beneficios económicos.

Un ROI positivo implica que no ha habido pérdidas y su valor indica la relación entre los beneficios y la inversión, del 35,77%. Por tanto, se obtienen beneficios y se puede concluir que la inversión es rentable. Por último, el Payback indica que, en el año 11 desde el comienzo de la instalación, el proyecto será rentable y empezará a dar beneficios económicos.

Por tanto, se obtiene una instalación fotovoltaica flotante rentable por sí misma, sin tener en cuenta posibles ayudas económicas y subvenciones, que ofrece beneficio económico a largo plazo.

En cuarto lugar, se ha estudiado la posibilidad de hibridación energética entre la instalación fotovoltaica flotante, estudiada en este Proyecto, y la central hidráulica existente de la Presa de San José, actualmente en funcionamiento. La hibridación ofrece dos ventajas principales,

tanto para estabilizar el suministro energético a lo largo del año como para el almacenamiento de energía.

La hibridación estabiliza el suministro energético compensando los picos y valles estacionales de ambos tipos de energía. La generación hidráulica tiene picos en las épocas estacionales con mayores precipitaciones y, por tanto, cuando el embalse tiene más agua. Por otro lado, la generación fotovoltaica es mayor en verano, cuando el número de horas de luz y la radiación de los rayos del sol aumentan. Así, la hibridación compensará la generación en estas épocas.

Por otro lado, la hibridación permite el almacenamiento de energía. La energía sobrante, en vez de suministrarse a la red, puede utilizarse para bombear agua y, de este modo, almacenarse como energía potencial. Así, cuando sea necesaria, podrá convertirse en energía cinética, que moverá las turbinas Kaplan de la actual central hidráulica para volver a transformarse en eléctrica.

En quinto lugar, se ha realizado un estudio del nicho de mercado para analizar la estrategia de entrada en él. La estrategia de mercado elegida ha sido mediante PPAs (Power Purchase Agreement), que establecen un precio fijo y reduce el riesgo financiero pues asegura que la energía se comprará y, por tanto, se tiene una fuente de ingresos estable a largo plazo. Se han estudiado las necesidades de los posibles consumidores y se ha elegido como *target market* a las Asociaciones de Bodegas de Rueda, Toro y Rivera. Dichas asociaciones han mostrado un descontento con el precio actual de la energía por lo que estarán interesadas en obtenerla a menor precio. Además, colaborar con ellas supone contribuir al desarrollo económico de nuestro país, con un producto nacional y de calidad como lo es el vino español. Otras posibles opciones estudiadas son los Ayuntamientos e instalaciones públicas de la zona o algunas electro-intensivas de la industria de siderurgia y de las fundiciones.

Por último, se ha analizado el impacto social y medioambiental de la instalación fotovoltaica flotante. El proyecto es una fuente de generación de empleo y, por tanto, de desarrollo económico en la zona. Se calculado una generación de empleo aproximada, incluyendo directos e indirectos, de 36 nuevos puestos a jornada completa anuales a lo largo de toda la

vida útil del proyecto. Además, la generación fotovoltaica flotante es una energía verde y limpia que reduce la emisión de contaminantes. Se ha comprobado que llevar a cabo esta instalación, cuya producción anual es de aproximadamente 1.763,95 MWh, evitará la emisión de 1.428,80 toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, el equivalente a 352,79 toneladas de petróleo necesarias para la obtención de esa energía y que equivale a plantar 357,2 árboles. Por tanto, se reduce la contaminación emitida a la atmósfera y el impacto del cambio climático.

## **7.1 RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES**

- El diseño de la instalación es viable desde el punto de vista técnico y eficiente. La potencia pico alcanzada, de 1,001 MWp y la generación anual energética estimada por simulación son suficientes para satisfacer la demanda estudiada.
- Los costes por unidad de energía son competitivos en el mercado de la energía fotovoltaica actual, el proyecto es rentable en el plazo y dicha rentabilidad se verá reflejada en beneficios económicos a largo plazo.
- La estrategia en el mercado, basada en PPAs y un mercado objetivo vinícola, ofrece seguridad y estabilidad financiera a nuestro proyecto y beneficia económicamente a la zona de Castronuño.
- La posibilidad de hibridación entre energía fotovoltaica flotante e hidráulica supone un beneficio energético y económico ya que permite estabilizar el suministro energético y almacenar excedentes energéticos.
- La instalación fotovoltaica flotante generará empleo, reducirá la evaporación, contribuyendo a frenar el impacto de la sequía, y será una fuente de energía renovable que reducirá las emisiones de dióxido de carbono y otros gases contaminantes a la atmósfera, reduciendo así el impacto del cambio climático.

Llevar a cabo la instalación fotovoltaica flotante en el embalse de San José supondrá un beneficio energético, económico y medioambiental, como fuente de energía renovable. Se han cumplido, por tanto, los objetivos de este Trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Red Eléctrica de España. (2022, 8 de marzo). *Porcentaje de energía empleada para generar electricidad procedente de fuentes renovables en España de 2008 a 2021*. Statista. Recuperado de: <https://www.statista.com/statistics/419432/spain-share-of-electricity-from-renewablesources/>
- [2] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023, p.4). *Informe resumen de la dirección general de calidad y evaluación ambiental del inventario Nacional de emisiones a la atmósfera para la serie 1990-2021 (edición de 2023)*. MITECO. Recuperado de: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacionambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/informe-resumen-inventarios2023\\_tcm30-552023.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacionambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/informe-resumen-inventarios2023_tcm30-552023.pdf)
- [3] Organización de las Naciones Unidas (2015, 25 de Septiembre). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- [4] Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. Recuperado de: <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- [5] Carbonell, M.(2023) *¿Qué es la radiación solar directa e indirecta?*, Hogarsense. Recuperado de: <https://www.hogarsense.es/placas-solares/radiacion-solar-directa-e-indirecta#:~:text=La%20radiación%20solar%20directa%20e%20indirecta%3A%20diferencias,solar%20directa%2C%20difusa%20y%20reflejada.>
- [6] Iberdrola. (2021). *Células fotovoltaicas*. Recuperado de: <https://www.iberdrola.com/innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectronica>
- [7] Jofra, M. Puig,P. (2007). *Solar fotovoltaica*. Revista Energías Renovables, Haya Comunicación, vol 26. Recuperado de: [www.ingenieria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno\\_FOTOVOLTAICA.pdf](http://www.ingenieria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf)
- [8] TraceSoftware. (2019) *Plantas solares flotantes: la promesa de la energía renovable solar* Recuperado de: <https://www.trace-software.com/es/plantas-fotovoltaicas-flotantes-la-promesa-de-la-energia-renovable-solar/>
- [9] Ruiz, A. (2023, Marzo). *La planta fotovoltaica flotante más grande de Asia*. Esenergía, Recuperado de: <https://esenergia.es/energia-fotovoltaica-flotante-mas-grande/>

- [10] YSG Solar. (2022). *5 largest floating solar farms in the World in 2022*. Recuperado de: <https://www.ysgsolar.com/blog/5-largest-floating-solar-farms-world-2022-ysg-solar>
- [11] Europa Press. (2022, Jul). *EDP inaugural en Portugal el mayor parque solar flotante en un embalse de Europa*. europapress.es. Recuperado de: <https://www.europapress.es/economia/noticia-edp-inaugura-portugal-mayor-parque-solar-flotante-embalse-europa-20220715182925.html>
- [12] La Vanguardia. (2019, 23 de Octubre). *Esta central pone a Europa en el mapa mundial de la energía solar sobre agua*. La Vanguardia. Recuperado de: <https://www.lavanguardia.com/natural/20191018/471044294438/inauguracion-central-energia-solar-fotovoltaica-piolenc-francia.html>
- [13] Statista. (2023, 16 de Marzo). *Potencia fotovoltaica instalada en España de 2010 a 2022*. Recuperado de: <https://es.statista.com/estadisticas/1004387/potencia-solar-fotovoltaica-instalada-en-espana/#:~:text=Esta%20estad%C3%ADstica%20muestra%20la%20evoluci%C3%B3n,tan%20solo%20un%20a%C3%B1o%20antes.>
- [14] Miñana, I. (2017). *Saclima Solar Fotovoltaica suministra y asesora técnicamente en la primera planta fotovoltaica flotante de España*. Saclima Solar Fotovoltaica. Recuperado de: <http://www.saclimafotovoltaica.com/fotovoltaica-flotante-espana/>
- [15] Ruiz, A. (2023, Febrero). *El éxito de la energía fotovoltaica flotante en Extremadura*. Esenergía. Recuperado de: <https://esenergia.es/energia-fotovoltaica-flotante-espana/>
- [16] Acciona. (2020). *La primera planta fotovoltaica flotante conectada a red en España*. Recuperado de: [https://www.acciona.com/es/proyectos/planta-fotovoltaica-flotante-sierra-brava/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/proyectos/planta-fotovoltaica-flotante-sierra-brava/?_adin=02021864894)
- [17] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, *Real Decreto XXX/200X, de XX de XX, por el que se establece el régimen de instalación de plantas fotovoltaicas flotantes en el dominio público hidráulico y se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio*. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/participacion-publica/PP-RD-Instalacion-plantas-fotovoltaicas-flotantes-DPH.aspx>
- [18] Soria, A (2021). *Legislación fotovoltaica en España*. Censolar. Recuperado de: <https://www.censolar.org/legislacion-fotovoltaica-2021/>

- [19] Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto-ley 23/2020*. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-6621>
- [20] Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 413/2014*. Recuperado de: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123)
- [21] Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 1183/2020*. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-17278>
- [22] Agencia Estatal Boletín oficial del Estado. *Circular 1/2021*. Recuperado de: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-904](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-904)
- [23] Planas, O. (2020). *¿Qué es una planta solar flotante? Principales plantas flotantes del mundo*. Energía Solar. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/planta-fotovoltaica/planta-solar-flotante>
- [24] RTVE (2023, Mayo). *Embalses: la reserva de agua para el consumo cae al 41,4% tras cinco semanas a la baja*. Recuperado de: [https://www.rtve.es/noticias/20230503/estado-embalses-espana-datos/2281701.shtml#:~:text=A%20d%C3%ADa%20de%20hoy%2C%20los,d%C3%A9cada%20\(68%2C7%25\)](https://www.rtve.es/noticias/20230503/estado-embalses-espana-datos/2281701.shtml#:~:text=A%20d%C3%ADa%20de%20hoy%2C%20los,d%C3%A9cada%20(68%2C7%25)).
- [25] Interempresa. (2009). *Murcia experimenta con éxito un sistema para tapar embalses de grandes dimensiones*. <https://www.interempresas.net/Jardineria/Articulos/423183-Murcia-experimenta-con-exito-sistema-para-tapar-embalses-de-grandes-dimensiones.html>
- [26] Redacción Futuro Eléctrico (2022). *Fotovoltaica Flotante: Qué es y por qué supone el futuro de las plantas solares*. Recuperado de: <https://futuroelectrico.com/fotovoltaica-flotante/>
- [27] Selectra.(2021). *Instalaciones fotovoltaicas aisladas vs con conexión a red*. El blog de la Energía. Recuperado de: <https://elblogenergia.com/energia/instalaciones-fotovoltaicas-aisladas-vs-conexion-red>
- [28] Iberdrola. *¿Conoces la energía solar fotovoltaica flotante?* Iberdrola Corporativa. Recuperado de: <https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante>
- [29] C. Cañete. (2015). *Modelos para la caracterización eléctrica de módulos fotovoltaicos en condiciones de sol real*. Tesis doctoral, Universidad de Málaga, España. Recuperado de: [https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/10030/TD\\_Caete\\_Torralvo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/10030/TD_Caete_Torralvo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [30] C. Estriche. (2022). *Fotovoltaica flotante: La alternativa al uso de terreno y las cubiertas para producción de energía solar*. Intergia. Recuperado de:

- <https://www.intergia.es/fotovoltaicaflotante/#:~:text=Desde%20un%20punto%20de%20vista%20t%C3%A9cnico%2C%20los%20sistemas,el%20cableado%20y%20dem%C3%A1s%20elementos%20el%C3%A9ctricos%20y%20electr%C3%B3nicos.>
- [31] Insumos Solares. (2021). *¿Cómo funciona un inversor de onda pura?* Rayssa. Recuperado de: <https://www.rayssa.cl/como-funciona-un-inversor-de-onda-sinusoidal-pura/>
- [32] Endesa. (2022, 27 de Mayo). *Plantas solares flotantes: una alternativa más para generar energía renovable.* Recuperado de: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/plantas-solares-flotantes-alternativa-generacion-energia-renovable>
- [33] Alba Solar. (2021). *Elementos de protección de la instalación fotovoltaica.* Recuperado de: <https://albasolar.es/elementos-de-proteccion-de-la-instalacion-fotovoltaica/#:~:text=Se%20suelen%20instalar%20seccionadores%2C%20protecciones,diferenciales%20y%20protecciones%20contra%20sobretensiones.>
- [34] J. Cantos. (2016). *Funcionamiento y componentes de una instalación Fotovoltaica conectada a red.* Almerich Estudio. Recuperado de: <https://almerichestudio.es/funcionamiento-y-componentes-de-una-instalacion-fotovoltaica-conectada-a-red/>
- [35] E. Rodríguez. (s.f). *Regulador de carga Solar.* Área Tecnología. Recuperado de: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>
- [36] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. *Preguntas frecuentes: Potencia instalada.* Recuperado de: <https://energia.gob.es/electricidad/Paginas/preguntas-frecuentes-acceso-conexion.aspx?Faq=Potencia%20instalada#:~:text=%E2%80%9CLa%20potencia%20instalada%20se%20corresponder%C3%A1,como%20cuando%20la%20instalaci%C3%B3n%20est%C3%A9>
- [37] Hermida, Á. (2021, 14 de Marzo). *La eficiencia de los paneles solares estaba limitada al 25%. ¿Llega una nueva era?* El Confidencial. Recuperado de: [https://www.elconfidencial.com/medioambiente/energia/2021-03-14/paneles-solares-eficiencia-transicion-energetica\\_2987375/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/energia/2021-03-14/paneles-solares-eficiencia-transicion-energetica_2987375/)
- [38] Tunergia. (2022). *¿Qué diferencias hay entre potencia pico y potencia nominal en fotovoltaica?* Recuperado de: <https://www.tunergia.es/post/diferencias-potencia-pico-nominal#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20potencia%20pico,en%20sus%20condiciones%20m%C3%A1s%20%C3%B3ptimas.>

- [39] Inergy. (2021, 25 de enero). *Pérdidas en un sistema fotovoltaico*. Inergy Suministro. Recuperado de: <https://www.inergy.com.mx/post/p%C3%A9rdidas-en-un-sistema-fotovoltaico>
- [40] J. A. Alonso. (2019). *Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia*. Sunfields Europe. Recuperado de: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/#Recuerda-la-diferencia-entre-irradiancia-e-irradiacion>
- [41] Área Tecnología. (s.f). “Inclinación, Orientación y Sombras”. Recuperado de: <https://areatecnologia.com/electricidad/perdidas-fotovoltaica.html>
- [42] ADRASE. *Mapa zona Península*. Recuperado de: <http://www.adrase.com/>
- [43] Atersa. *Panel Solar 450W A450-M*. Recuperado de: <https://atersa.shop/panel-solar-450w-a-450m-atersa-gs-m6x24/>
- [44] Atersa. *Módulos solares fotovoltaicos*. Recuperado de: <https://atersa.shop/app/uploads/2021/01/MU-M6M-6x24-M6-9BB-GS-ES-F-marco-35-mm-1.pdf>
- [45] Rodríguez, R. (2020). *El factor de escala en el sistema fotovoltaico*. Greening. Recuperado de: <https://greening-e.com/factor-de-escala-sistema-fotovoltaico/>
- [46] Helioesfera. (2022, 4 de Mayo). *Comprobación de los parámetros eléctricos del inversor*. Recuperado de: <https://www.helioesfera.com/comprobacion-de-los-parametros-electricos-del-inversor/>
- [47] Isifgenere. (2021). *Sistema Isifloating*. Recuperado de: <https://www.isifloating.com/en/isifloating-english/>
- [48] Libremercado. (2022). *Acciona instalará en Extremadura la primera fotovoltaica flotante*. Recuperado de: <https://www.libremercado.com/2020-03-03/acciona-instalara-en-extremadura-la-primer-planta-fotovoltaica-flotante-1276653303/>
- [49] Falck Renewables. (2021). *Plan estratégico de la instalación fotovoltaica de 20MW promovida por Falck Renewable Power 3, S.L.U*. Recuperado de: [https://energia.gob.es/renovables/regimen-economico/Documents/FV\\_PE6%20FALCK%20RENEWABLES%20POWER%203,%20S.L.U.%2020%20MW.pdf](https://energia.gob.es/renovables/regimen-economico/Documents/FV_PE6%20FALCK%20RENEWABLES%20POWER%203,%20S.L.U.%2020%20MW.pdf)
- [50] Suministros del Sol. *Inversor Huawei Sun2000 100kTL*. Recuperado de: <https://suministrodelsol.com/es/inversor-conexion-a-red/939-inversor-huawei-sun2000-100ktl-m1.html>

- [51] Solideo Rco Systems. (2020). *¿Cuánto cuesta instalar placas solares?* Recuperado de: <https://www.solideo.es/placas-solares/instalacion/cuanto-cuesta-poner-placas-solares-en-una-casa/>
- [52] Euribor. Euribor. Recuperado de: <https://www.euribor.com.es/>
- [53] Operador del Mercado Ibérico de energía. *Funcionamiento del Mercado Diario*. Recuperado de: [https://www.omie.es/sites/default/files/inline-files/mercado\\_diario.pdf](https://www.omie.es/sites/default/files/inline-files/mercado_diario.pdf)
- [54] Datos Macro (2022). *Precio medio la electricidad en España*. Datosmacro.com Recuperado de: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-precio-hogares/espana#:~:text=Crece%20el%20precio%20de%20la,08%25%20desde%20el%20%20C3%BA%20ultimo%20semestre.>
- [55] Iberdrola. *¿Sabes qué es un PPA de energía?* Recuperado de: [https://www.iberdrola.com/conocenos/contrato-ppa-energia#:~:text=Un%20PPA%20\(Power%20Purchase%20Agreement\)%20es%20un%20acuerdo%20de%20compraventa,desarrollador%20y%20un%20comercializador%20que](https://www.iberdrola.com/conocenos/contrato-ppa-energia#:~:text=Un%20PPA%20(Power%20Purchase%20Agreement)%20es%20un%20acuerdo%20de%20compraventa,desarrollador%20y%20un%20comercializador%20que)
- [56] Asociación Eólica Española, AEE. (2023) *Los precios de los Contratos de Energía Solar en Europa se dispararon un 60% respecto al año anterior y la disponibilidad eólica se desplomó, según el informe del Cuarto Trimestre de LevelTen Energy*. Recuperado de: <https://aeeolica.org/los-precios-de-los-contratos-de-energia-solar-en-europa-se-dispararon-un-60-respecto-el-ano-anterior-y-la-disponibilidad-eolica-se-desplomo-segun-el-informe-del-cuarto-trimestre-de-levelten-energy/>
- [57] Solarpack (2029). *Informe de Auditoría de cuentas anuales consolidadas emitido por un auditor independiente de Solarpack Corporación S.A.* Deloitte. <https://www.cnmv.es/AUDITA/2019/18347.pdf>
- [58] Raso, C. (2023, 6 de Mayo). *El coste de la eólica y la fotovoltaica suben por primera vez en la historia*. El Economista. Recuperado de: <https://www.economista.es/energia/noticias/12252560/04/23/el-coste-de-la-eolica-y-la-fotovoltaica-suben-por-primera-vez-en-la-historia.html>
- [59] *Hibridación*. Desarrollos Guaso. Recuperado de: <https://www.desarrollosguaso.es/wp-content/uploads/2021/03/folleto-Hibridacio%CC%81nOK.pdf>
- [60] REData. (2022). *Estructura de la generación por tecnologías (MWh)*. Red eléctrica española. Recuperado de: <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion>

- [61] Junta de Castilla y León (2013). *Estadística energéticas en Castilla y León*. (pág. 58). Recuperado de: <https://energia.jcyl.es/web/jcyl/binarios/556/1007/N%C2%BA%20118%20Resumen%20Anual%202013.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobnocache=true>
- [62] El Español. (2022). *Las bodegas de Ribera, Rueda y Toro exigen a la Junta medidas para afrontar el coste energético*. El Español. Recuperado de: [https://www.elespanol.com/castilla-y-leon/economia/20220331/bodegas-ribera-rueda-toro-junta-afrontar-energetico/661434287\\_0.html](https://www.elespanol.com/castilla-y-leon/economia/20220331/bodegas-ribera-rueda-toro-junta-afrontar-energetico/661434287_0.html)
- [63] Fernández, J.A. (2020, 6 de Noviembre). *Ahorro energético en bodegas: las mejores medidas*. Fusión Ingeniería. Recuperado de: <https://fusioningenieria.com/ahorro-energetico-bodegas-cavas/#:~:text=El%20consumo%20el%C3%A9ctrico%20medio%20anual,1.200.000%20litros%20de%20vino.>
- [64] Ayuntamiento de Valladolid. (2023). *El Ayuntamiento consigue un ahorro de 2,34 millones de euros en costes de energía eléctrica en 2022*. Recuperado de: <https://www.valladolid.es/es/actualidad/valladolid-7b/ayuntamiento-consigue-ahorro-2-34-millones-euros-costes-ene#:~:text=En%202022%2C%20el%20consumo%20de.fue%20de%2058.500%20MWh%2Fa%C3%B1o.>
- [65] García, R. (2022, 29 de Agosto). *Valladolid y Burgos acaparan el 40% de la energía que consume Castilla y León*. El Mundo. Recuperado de: <https://diariodecastillayleon.elmundo.es/articulo/castilla-y-leon/valladolid-burgos-acaparan-40-energia-que-consume-Castilla-Le%C3%B1n/20220828193455054927.html>
- [66] Rojas, L. (2015, 24 de Febrero). *El costo de la electricidad de un horno de fusión por inducción*. Recuperado de: <https://electroheatinduction.com.mx/costo-de-la-electricidad-de-un-horno-de-fusion-por-induccion/>
- [67] López Moreno, J. (2008). *Estimación de pérdidas de agua por evaporación en embalses del Pirineo*. Instituto Pirenaico de Ecología. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2762772>
- [68] Redagícola (2019, 19 de Diciembre). *Tecnologías que permiten mitigar las mermas de agua*. Redagícola. Recuperado de: <https://www.redagricola.com/cl/tecnologias-que-permiten-mitigar-las-mermas-de-agua/>

## **ANEXO**

## ANEXO

### 8.1 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)



Ilustración 29. ONU (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030

En septiembre de 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible que cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, con el objetivo de movilizar la acción colectiva entorno a objetivos comunes de carácter universal y centrados en las personas. Desde entonces, se han convertido en el punto de referencia para el desarrollo hasta el año 2030. Dichos Objetivos incluyen tres dimensiones del desarrollo sostenible: económica, social y ambiental.

Este proyecto está fuertemente relacionado con la dimensión ambiental de los Objetivos de desarrollo sostenible. Entre la lista de ODS se encuentra el objetivo número 13: la acción por el clima. De acuerdo con la ONU, la energía es el factor que más contribuye al cambio climático, y representa el 60% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Este proyecto se centra mucho en dicho ODS ya que su finalidad es el diseño de una instalación de placas fotovoltaicas flotantes rentable que permitirá transformar la energía solar en eléctrica de una manera sostenible y, por tanto, reducirá el uso de fuentes de energía contaminantes y la emisión de gases de efecto invernadero.

En los ODS también se hace referencia a la obtención de energía asequible y no contaminante para todos, el objetivo número 7. Al estudiar la rentabilidad de la obtención de energía a través de placas fotovoltaicas, por un lado, se está trabajando con fuentes de energía renovables que reducirían el uso de fuentes contaminantes y, por otro lado, se busca la manera de reducir los costes contribuyendo a que esta energía llegue a un mayor número de personas.

Otro de los ODS en los que este trabajo podría contribuir es el 3, Salud y Bienestar. De acuerdo un estudio publicado en *The Lancet: Planetary Health (2021)*, la contaminación del aire es un problema mundial y responsable del 12% de las defunciones del mundo. Además, *National Geographic España (2021)* establece que “La población europea expuesta a concentraciones medias anuales de partículas finas y ozono por encima de las recomendaciones en 2018 fue del 74 % y del 96 %, respectivamente”. Por tanto, aumentar el uso de fuentes de energías renovables como se propone en este trabajo, reduciría dichos porcentajes y contribuiría a mejorar la salud de las personas.

Este trabajo también está relacionado con el objetivo 12, Producción y consumo responsables. De acuerdo con la ONU, entre las Metas de este objetivo se encuentran: lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales (sección 12.2) y Racionalizar los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles que fomentan el consumo antieconómico (sección 12.c) por lo que el creciente uso de fuentes de energía sostenibles contribuiría a lograr este objetivo.

Además de la estrecha relación entre este trabajo y los ODS, es importante destacar su contribución al cumplimiento del Acuerdo de París de 2015, por el cual España se comprometió a adoptar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **8.1.1 EL ACUERDO DE PARÍS**

El 12 de diciembre de 2015, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), se firmó el Acuerdo de París. Se trata de un tratado internacional legalmente vinculante firmado por 194 países por el cual se comprometen a reducir las

emisiones de gases contaminantes y a reducir el impacto del cambio climático. Dicho acuerdo tiene como objetivo reducir sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el aumento de la temperatura global en este siglo a 2 °C y esforzarse para limitar este aumento a incluso más de tan solo el 1,5. Los países que participan se comprometen a revisar los compromisos cada cinco años y a ofrecer financiación a los países en desarrollo. Por tanto, una instalación de placas fotovoltaicas flotantes en España no solo estaría alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, sino que también contribuiría a conseguir el objetivo firmado del Acuerdo de París para lograr la descarbonización de la economía de España en 2050.

## 8.2 FICHA TÉCNICA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS [44]



### A-xxxxM GS 60 BC (SS) (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas	A-310M GS 60	A-315M GS 60	A-320M GS 60	A-325M GS 60	A-330M GS 60
Potencia Máxima (Pmax)	310 W	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	33.60 V	33.90 V	34.10 V	34.30 V	34.40 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	9.23 A	9.30 A	9.39 A	9.48 A	9.60 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	40.90 V	41.20 V	41.30 V	41.50 V	41.60 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	9.85 A	9.92 A	10.02 A	10.14 A	10.27 A
Eficiencia del Módulo (%)	18.48	18.88	19.18	19.48	19.78
Clasificación de Potencia (W)	0/+5				
Máxima Serie de Fusibles (A)	15				
Máxima Tensión del Sistema (IEC)	DC 1.000 V / DC 1.500V (**)				
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	45±2				

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.  
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±2% (Voc, Vmp); ±4% (Isc, Imp);  
Test in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%.  
(\*\*) Máxima tensión del sistema de 1.500 V se fabrica bajo pedido.

#### Especificaciones mecánicas

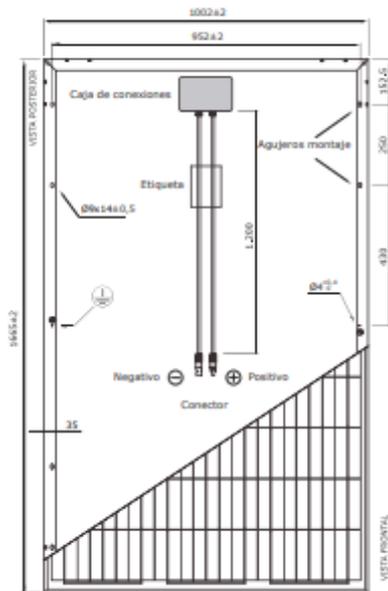
Dimensiones (± 2.0 mm.)	1665x1002x35 mm.
Peso (± 0.5 kg)	17.50 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa
Máx. impacto granizo (diámetro/velocidad)	25 mm / 23 m/s

#### Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor) (*)	Cristal templado/grado PV/3.2 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	60 células (6x10)/Mono PERC/158.75x158.75 mm
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado/plata
Caja de conexiones (protección/nº diodos)	IP67
Cable (longitud/sección) / Conector	1.200 mm./4 mm²/Compatible MC4/IP67

(\*) Con capa anti-reflectante

#### Vista genérica construcción módulo



El dibujo no está a escala

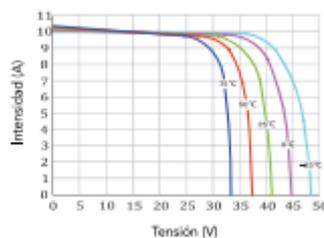
#### Características de temperatura

Coef. Temp. de Isc (TK Isc)	0.048 %/°C
Coef. Temp. de Voc (TK Voc)	-0.28 %/°C
Coef. Temp. de Pmax (TK Pmax)	-0.37 %/°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 to +85 °C

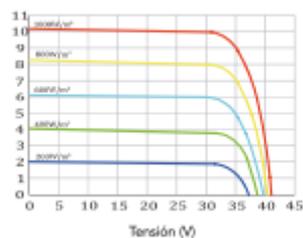
#### Embalaje

Módulos/palé	31 pzas
Palés/contenedor 40' HQ	28 palés
Módulos/contenedor 40' HQ	868 pzas
Palés/contenedor 20'	12 palés
Módulos/contenedor 20'	372 pzas

#### Temperatura Varía (A-325M GS 60)



#### Irradiación Varía (A-325M GS 60)



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

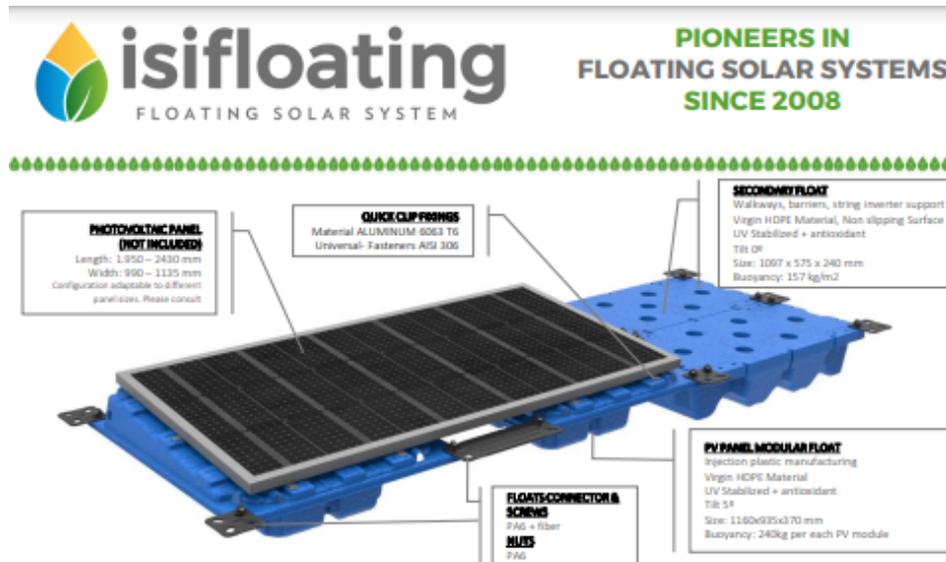
*Anexo 1. Especificaciones de producto: módulos fotovoltaicos A-450M GS 144 de Atersa*

## 8.3 FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR

Technical Specification		SUN2000-100KTL-M2
<b>SUN2000-100KTL-M2</b> <b>Technical Specification</b>		
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency		98.6% @ 400 V, 98.8% @ 480 V
European efficiency		98.4% @ 400 V, 98.6% @ 480 V
<b>Input</b>		
Max. Input Voltage <sup>1</sup>		1,100 V
Max. Current per MPPT		30 A
Max. Current per Input		20 A
Max. Short Circuit Current per MPPT		40 A
Start Voltage		200 V
MPPT Operating Voltage Range <sup>2</sup>		200 V ~ 1,000 V
Nominal Input Voltage		600 V @ 400 Vac, 720 V @ 480 Vac
Number of MPP trackers		10
Max. input number per MPP tracker		2
<b>Output</b>		
Nominal AC Active Power		100,000 W
Max. AC Apparent Power		110,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)		110,000 W
Nominal Output Voltage		400 V/ 480 V, 3W+(N)+PE
Rated AC Grid Frequency		50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current		144.4 A @ 400 V, 120.3 A @ 480 V
Max. Output Current		160.4 A @ 400 V, 133.7 A @ 480 V
Adjustable Power Factor Range		0.8 leading.. 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion		< 3%
<b>Protection</b>		
Input-side Disconnection Device		Yes
Anti-islanding Protection		Yes
AC Overcurrent Protection		Yes
DC Reverse-polarity Protection		Yes
PV-array String Fault Monitoring		Yes
DC Surge Arrester		Type II
AC Surge Arrester		Type II
DC Insulation Resistance Detection		Yes
Residual Current Monitoring Unit		Yes
Arc Fault Protection		Yes
Smart String Level Disconnecter		Yes
<b>Communication</b>		
Display		LED indicators; WLAN adaptor + FusionSolar APP
RS485		Yes
USB		Yes
Smart Dongle-4G		4G / 3G / 2G via Smart Dongle - 4G (Optional)
Monitoring BUS (MBUS)		Yes (isolation transformer required)
<b>General Data</b>		
Dimensions (W x H x D)		1,035 x 700 x 365 mm
Weight (with mounting plate)		93 kg
Operating Temperature Range		-25°C ~ 60°C
Cooling Method		Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude		4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity		0 ~ 100%
DC Connector		Amphenol HH4
AC Connector		Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree		IP66
Topology		Transformerless
Nighttime Power Consumption		< 3.5 W
<b>Standard Compliance (more available upon request)</b>		
Certificate		EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683
Grid Connection Standards		VDE-AR-N4105, EN 50549-1, EN 50549-2, RD 661, RD 1699, C10/11
<small>*1 The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter. *2 Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.</small>		

Anexo 2. Ficha técnica de producto: Inversor Huawei SUN2000 100 KTL

## 8.4 FICHA TÉCNICA DEL SISTEMA DE FLOTACIÓN



### ✓ HIGH QUALITY

- Unique and bi-float design to support PV panel using the best materials (Virgin HDPE, UV and antioxidant additives)
- Injection molding process provides larger durability and precision in manufacturing
- Minimum thickness of 3mm in any part of the main float
- Fast speed of manufacturing (1MW DC floats manufactured in less than 5 days)

### 🔌 ADAPTABLE

- To the different water levels as the floats rest above the embankments of the reservoirs when water goes down
- Start small and then grow the plant in a flexible way
- To reservoirs with small surface areas with a high peak power by area (157 Wp/ m<sup>2</sup>)
- To strong winds (180km/h), waves (1,0mt or larger mts with breakwater) and extreme temperatures (-20° to +60°C)

### 🔒 SAFE

- For people who perform O&M with easy and secure walking access to all solar panels for cleaning and maintenance tasks
- For your investment with real life experience of more than 10 years and use of high-quality materials and specifications
- Greater stability and buoyancy (240 kg/solar panel)
- Minimum wind drag thanks to the aerodynamic design of only 5° tilt angle

### 📈 COST EFFICIENT

- In logistics and storage thanks to its nestable and stackable design (1 MW DC <8 – 40' containers)
- In installation as it has very few parts, no specialized personnel required, only basic IKEA-like tools
- High speed of installation (1MW only takes 15 days per 5-person crew - 1,5 kW/worker/hour)
- In maintenance as basic personnel and conventional cleaning tools without additional expensive resources



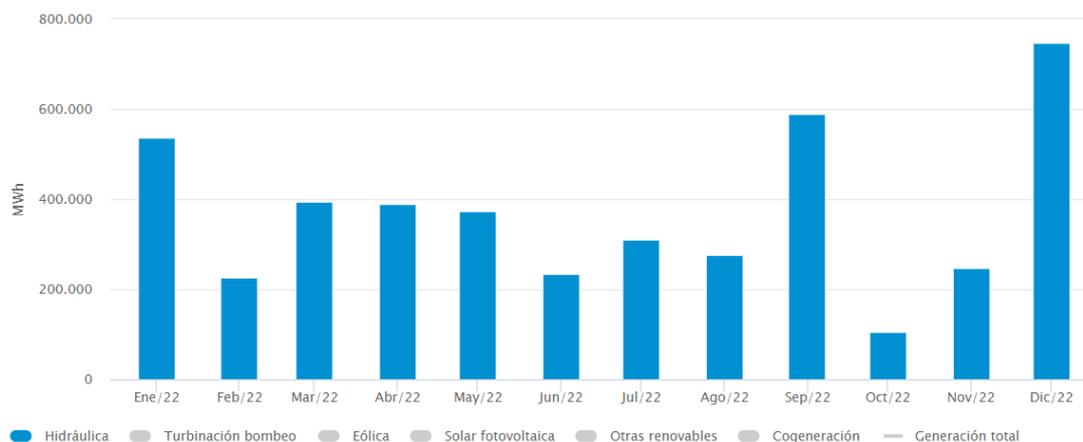
✉ [isifloating@isigenere.com](mailto:isifloating@isigenere.com)  
 📍 C/Chapaprieta Nave 5. P.I La Casilla  
 03460 - Beneixama (Alicante)  
 🔗 [www.linkedin.com/company/isigenere/](http://www.linkedin.com/company/isigenere/)  
 📺 [www.youtube.com/user/ISIGENERE](http://www.youtube.com/user/ISIGENERE)

Anexo 3. Especificaciones de producto de Isifloating de Isigenere

## 8.5 ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN POR TECNOLOGÍAS

### ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN POR TECNOLOGÍAS (MWh) |

Del 01/2022 al 12/2022



Anexo 4. Estructura de la generación por tecnologías (MWh). Statista.

## 8.6 GENERACIÓN HIDRÁULICA ANUAL EN CASTILLA Y LEÓN

GRUPO	NOMBRE DE LA CENTRAL O DEL PARQUE	EMPLAZAMIENTO	PROVINCIA	POTENCIA (kW)	MWh PRODUCIDOS	MWh CEDIDOS	Horas Equiv.	CONSUMO / PRODUCCIÓN
b.1	FV ALFREDO YAGUE	SORIA	SORIA	19,95	33,63	33,63	1.686	0,0%
b.2	LAYNA	ARCOS DE JALÓN (SORIA)	SORIA	50.000,00	91369,00	90.968,00	1.827	0,4%
b.1	I.F. DUERO SOLAR	SORIA	SORIA	19,95	32,68	32,47	1.638	0,6%
b.1	SAUQUILLO FOTOVOLTAICA	SAUQUINO DE BONICES (SORIA)	SORIA	20,00	28,10	24,57	1.405	12,6%
b.1	ASENSIO FV	SORIA	SORIA	50,00	80,70	80,70	1.614	0,0%
b.1	RAQUEL 1	CUBO DE LA SOLANA (SORIA)	SORIA	19,95	21,37	21,37	1.071	0,0%
b.1	MOMAGA II	AGREDA (SORIA)	SORIA	19,95	26,56	26,56	1.332	0,0%
b.1	ABEJAR 1	ABEJAR (SORIA)	SORIA	100,00	49,62	49,62	496	0,0%
b.1	FV UNTORIA MARTINEZ	SORIA	SORIA	100,00	45,15	44,88	452	0,6%
b.1	DE LA HOZ I	SERÓN DE NAGIMA (SORIA)	SORIA	12,00	4,61	4,61	394	0,0%
b.1	FV SUN PREMIER 2030	SORIA	SORIA	270,00	64,46	64,46	239	0,0%
b.1	FV SERAFIN HERNANDEZ	SORIA	SORIA	19,95	2,24	2,24	112	0,0%
b.1	FV HERNANDO Y DUENA	SAN ESTEBAN DE GORMAZ (SORIA)	SORIA	100,00	0,00	0,00	0	---
b.2	AGREDA	AGREDA (SORIA)	SORIA	18.000,00	6,70	6,40	0	4,5%
			SORIA	<b>1.267.432,15</b>	<b>3.522.386,60</b>	<b>3.427.991,12</b>	<b>2.779</b>	<b>2,68%</b>
b.4	LA FLECHA	ARROYO DE LA ENCOMIENDA (VALLADOLID)	VALLADOLID	2.200,00	3.984,00	3.925,00	1.811	1,5%
b.4	TUDELA	TUDELA DE DUERO (VALLADOLID)	VALLADOLID	1.200,00	1.036,00	1.020,00	863	1,5%
b.4	SARDÓN BAJO	VILLABÁÑEZ (VALLADOLID)	VALLADOLID	1.400,00	1.318,00	1.298,00	941	1,5%
b.4	MONASTERIO	QUINTANILLA DE ARRIBA (VALLADOLID)	VALLADOLID	1.400,00	2.394,00	2.359,00	1.710	1,5%
b.4	BOCOS	BOCOS DE DUERO (VALLADOLID)	VALLADOLID	1.600,00	1.900,00	1.872,00	1.188	1,5%
b.4	LAS LUISAS	CORCOS (VALLADOLID)	VALLADOLID	85,00	0,00	0,00	0	---
b.4	SAN JOSE	CASTRONUÑO (VALLADOLID)	VALLADOLID	4.800,00	13.442,00	12.942,00	2.800	3,7%
b.4	SAN MIGUEL DEL PINO	VILLANUEVA DE DUERO (VALLADOLID)	VALLADOLID	1.568,00	5.394,00	5.386,00	3.440	0,1%
b.4	VILLABÁÑEZ	VILLABÁÑEZ (VALLADOLID)	VALLADOLID	1.244,00	517,00	478,00	416	7,5%
b.4	LA JOSEFINA	PENAFIEL (VALLADOLID)	VALLADOLID	1.112,00	927,00	897,00	834	3,2%

Anexo 5. Fragmento Resumen Anual Generación Hidráulica en Castilla y León. [61]

## 8.7 SIMULACIÓN DEL PRÉSTAMO

<b>Importe a financiar:</b>	815.367,91 €
<b>Comisión de apertura:</b>	0%
<b>Con seguro:</b>	NO
<b>Plazo:</b>	120
<b>TIN:</b>	3,80%
<b>i12</b>	0,003333333
<b>Mensualidad</b>	8255,203629
<b>TAE</b>	4,074154292
<b>Importe total adeudado:</b>	990624,4354

<b>i12</b>	0,003166667
<b>Mensualidad</b>	8177,92
<b>TAE</b>	3,866886938
<b>Importe total adeudado:</b>	981350,7972

### CUADRO DE AMORTIZACIÓN: MÉTODO FRANCÉS

	<b>Capital Vivo (Cs)</b>	<b>Importe adeudado (as)</b>	<b>Cuota de amortizació n(As)</b>	<b>Cuota de interés (Is)</b>	<b>Capital amortizado (Ms)</b>
0	815367,9059	-	-	-	-
1	809771,9809	8177,9233	5595,9249	2581,9984	5595,9249
2	804158,3356	8177,9233	5613,6454	2564,2779	11209,5703
3	798526,9137	8177,9233	5631,4219	2546,5014	16840,9922
4	792877,6589	8177,9233	5649,2547	2528,6686	22490,2470
5	787210,5148	8177,9233	5667,1441	2510,7793	28157,3910
6	781525,4248	8177,9233	5685,0900	2492,8333	33842,4810
7	775822,3320	8177,9233	5703,0928	2474,8305	39545,5738

8	770101,1794	8177,9233	5721,1526	2456,7707	45266,7264
9	764361,9099	8177,9233	5739,2696	2438,6537	51005,9960
10	758604,4659	8177,9233	5757,4439	2420,4794	56763,4399
11	752828,7901	8177,9233	5775,6758	2402,2475	62539,1158
12	747034,8246	8177,9233	5793,9655	2383,9578	68333,0812
13	741222,5116	8177,9233	5812,3130	2365,6103	74145,3943
14	735391,7929	8177,9233	5830,7187	2347,2046	79976,1130
15	729542,6103	8177,9233	5849,1826	2328,7407	85825,2956
16	723674,9052	8177,9233	5867,7050	2310,2183	91693,0006
17	717788,6191	8177,9233	5886,2861	2291,6372	97579,2868
18	711883,6931	8177,9233	5904,9260	2272,9973	103484,2128
19	705960,0682	8177,9233	5923,6249	2254,2984	109407,8377
20	700017,6851	8177,9233	5942,3831	2235,5402	115350,2208
21	694056,4844	8177,9233	5961,2006	2216,7227	121311,4214
22	688076,4067	8177,9233	5980,0778	2197,8455	127291,4992
23	682077,3920	8177,9233	5999,0147	2178,9086	133290,5139
24	676059,3804	8177,9233	6018,0116	2159,9117	139308,5255
25	670022,3118	8177,9233	6037,0686	2140,8547	145345,5941
26	663966,1258	8177,9233	6056,1860	2121,7373	151401,7801
27	657890,7619	8177,9233	6075,3639	2102,5594	157477,1440
28	651796,1593	8177,9233	6094,6026	2083,3207	163571,7466
29	645682,2572	8177,9233	6113,9021	2064,0212	169685,6487
30	639548,9944	8177,9233	6133,2628	2044,6605	175818,9115
31	633396,3095	8177,9233	6152,6848	2025,2385	181971,5963
32	627224,1412	8177,9233	6172,1683	2005,7550	188143,7647
33	621032,4277	8177,9233	6191,7135	1986,2098	194335,4782
34	614821,1070	8177,9233	6211,3206	1966,6027	200546,7988
35	608590,1172	8177,9233	6230,9898	1946,9335	206777,7886
36	602339,3960	8177,9233	6250,7213	1927,2020	213028,5099
37	596068,8808	8177,9233	6270,5152	1907,4081	219299,0251

38	589778,5089	8177,9233	6290,3719	1887,5515	225589,3970
39	583468,2175	8177,9233	6310,2914	1867,6319	231899,6883
40	577137,9436	8177,9233	6330,2740	1847,6494	238229,9623
41	570787,6238	8177,9233	6350,3198	1827,6035	244580,2821
42	564417,1946	8177,9233	6370,4292	1807,4941	250950,7113
43	558026,5924	8177,9233	6390,6022	1787,3211	257341,3135
44	551615,7533	8177,9233	6410,8391	1767,0842	263752,1526
45	545184,6132	8177,9233	6431,1401	1746,7832	270183,2927
46	538733,1078	8177,9233	6451,5054	1726,4179	276634,7980
47	532261,1727	8177,9233	6471,9351	1705,9882	283106,7332
48	525768,7431	8177,9233	6492,4296	1685,4937	289599,1628
49	519255,7541	8177,9233	6512,9890	1664,9344	296112,1517
50	512722,1407	8177,9233	6533,6134	1644,3099	302645,7651
51	506167,8375	8177,9233	6554,3032	1623,6201	309200,0683
52	499592,7790	8177,9233	6575,0585	1602,8648	315775,1268
53	492996,8995	8177,9233	6595,8795	1582,0438	322371,0063
54	486380,1331	8177,9233	6616,7665	1561,1568	328987,7728
55	479742,4135	8177,9233	6637,7196	1540,2038	335625,4924
56	473083,6745	8177,9233	6658,7390	1519,1843	342284,2314
57	466403,8495	8177,9233	6679,8250	1498,0983	348964,0564
58	459702,8717	8177,9233	6700,9778	1476,9455	355665,0342
59	452980,6742	8177,9233	6722,1975	1455,7258	362387,2317
60	446237,1897	8177,9233	6743,4845	1434,4388	369130,7162
61	439472,3508	8177,9233	6764,8389	1413,0844	375895,5551
62	432686,0899	8177,9233	6786,2609	1391,6624	382681,8160
63	425878,3392	8177,9233	6807,7507	1370,1726	389489,5666
64	419049,0307	8177,9233	6829,3086	1348,6147	396318,8752
65	412198,0959	8177,9233	6850,9347	1326,9886	403169,8099
66	405325,4666	8177,9233	6872,6293	1305,2940	410042,4393
67	398431,0739	8177,9233	6894,3927	1283,5306	416936,8319

68	391514,8490	8177,9233	6916,2249	1261,6984	423853,0568
69	384576,7227	8177,9233	6938,1263	1239,7970	430791,1831
70	377616,6257	8177,9233	6960,0970	1217,8263	437751,2801
71	370634,4884	8177,9233	6982,1373	1195,7860	444733,4175
72	363630,2410	8177,9233	7004,2474	1173,6759	451737,6649
73	356603,8134	8177,9233	7026,4275	1151,4958	458764,0925
74	349555,1355	8177,9233	7048,6779	1129,2454	465812,7704
75	342484,1368	8177,9233	7070,9987	1106,9246	472883,7691
76	335390,7466	8177,9233	7093,3902	1084,5331	479977,1593
77	328274,8940	8177,9233	7115,8526	1062,0707	487093,0119
78	321136,5078	8177,9233	7138,3861	1039,5372	494231,3980
79	313975,5168	8177,9233	7160,9910	1016,9323	501392,3891
80	306791,8493	8177,9233	7183,6675	994,2558	508576,0566
81	299585,4335	8177,9233	7206,4158	971,5075	515782,4724
82	292356,1974	8177,9233	7229,2361	948,6872	523011,7085
83	285104,0687	8177,9233	7252,1287	925,7946	530263,8372
84	277828,9750	8177,9233	7275,0938	902,8296	537538,9309
85	270530,8434	8177,9233	7298,1316	879,7918	544837,0625
86	263209,6011	8177,9233	7321,2423	856,6810	552158,3048
87	255865,1749	8177,9233	7344,4262	833,4971	559502,7310
88	248497,4913	8177,9233	7367,6836	810,2397	566870,4146
89	241106,4767	8177,9233	7391,0146	786,9087	574261,4292
90	233692,0572	8177,9233	7414,4195	763,5038	581675,8487
91	226254,1588	8177,9233	7437,8985	740,0248	589113,7471
92	218792,7070	8177,9233	7461,4518	716,4715	596575,1989
93	211307,6272	8177,9233	7485,0797	692,8436	604060,2787
94	203798,8447	8177,9233	7508,7825	669,1408	611569,0612
95	196266,2844	8177,9233	7532,5603	645,3630	619101,6215
96	188709,8710	8177,9233	7556,4134	621,5099	626658,0349
97	181129,5290	8177,9233	7580,3421	597,5813	634238,3769

98	173525,1825	8177,9233	7604,3465	573,5768	641842,7234
99	165896,7556	8177,9233	7628,4269	549,4964	649471,1503
100	158244,1720	8177,9233	7652,5836	525,3397	657123,7339
101	150567,3552	8177,9233	7676,8168	501,1065	664800,5506
102	142866,2286	8177,9233	7701,1267	476,7966	672501,6773
103	135140,7150	8177,9233	7725,5136	452,4097	680227,1909
104	127390,7373	8177,9233	7749,9777	427,9456	687977,1686
105	119616,2180	8177,9233	7774,5193	403,4040	695751,6879
106	111817,0793	8177,9233	7799,1386	378,7847	703550,8265
107	103993,2434	8177,9233	7823,8359	354,0874	711374,6624
108	96144,6321	8177,9233	7848,6114	329,3119	719223,2738
109	88271,1668	8177,9233	7873,4653	304,4580	727096,7391
110	80372,7688	8177,9233	7898,3979	279,5254	734995,1371
111	72449,3593	8177,9233	7923,4095	254,5138	742918,5466
112	64500,8589	8177,9233	7948,5003	229,4230	750867,0469
113	56527,1883	8177,9233	7973,6706	204,2527	758840,7175
114	48528,2678	8177,9233	7998,9205	179,0028	766839,6381
115	40504,0173	8177,9233	8024,2505	153,6728	774863,8885
116	32454,3568	8177,9233	8049,6606	128,2627	782913,5491
117	24379,2056	8177,9233	8075,1512	102,7721	790988,7003
118	16278,4831	8177,9233	8100,7225	77,2008	799089,4228
119	8152,1083	8177,9233	8126,3748	51,5485	807215,7976
120	0,0000	8177,9233	8152,1083	25,8150	815367,9059
		981350,7972	815367,9059		

Anexo 6. Simulación del préstamo bancario