

Trabajo Fin de Máster  
Máster en Ingeniería Industrial

Análisis económico de instalación de producción de hidrógeno a partir de energía solar fotovoltaica

Autor: Abraham Marqués Valderrama

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

Dpto. Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023





Trabajo Fin de Máster  
Máster en Ingeniería Industrial

# **Análisis económico de instalación de producción de hidrógeno a partir de energía solar fotovoltaica**

Autor:

Abraham Marqués Valderrama

Tutor:

Francisco Javier Pino Lucena  
Profesor Titular de Universidad

Dpto. Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2023



Proyecto Fin de Carrera: Análisis económico de instalación de producción de hidrógeno a partir de energía solar fotovoltaica

Autor: Abraham Marqués Valderrama

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal



*A mi padre y a mi madre*

*A mis hermanos*

*A mi familia*

*A mis hermanos de comunidad*

*A mis amigos*

*A mis profesores*



# Agradecimientos

---

Con este Trabajo Fin de Máster finalizo mis estudios de Ingeniería Industrial. El niño al que de pequeño le encantaba preguntarse el porqué de las cosas, buscaba valerse por sí mismo y siempre le gustaba buscar la forma de poder mejorar termina la carrera más afin a sus gustos.

Este camino no lo he recorrido solo. Primeramente, quiero agradecer a mis padres el que hayan dedicado cada día de su vida a conseguir lo mejor para mí. Como os he dicho muchas veces, siempre os estaré agradecido por todo lo que habéis hecho y hacéis cada día por mí. Me habéis enseñado que la transmisión de la fe no se basa solo en una creencia, sino una forma de vida en la que dar todo por tus hijos.

También quiero tener presente en estos agradecimientos a mis tres hermanos. Compartir el día a día con vosotros es una bendición. Siempre aprendo de vosotros y me ayudáis a mejorar cada día.

Agradezco a mi familia y amigos todo el cariño que me mostráis cada día. Estoy muy contento de que Dios os haya puesto en mi vida y deseo que así siga siendo en todo lo que me queda por delante.

Por último, darle las gracias a Javier Pino por haber sido mi tutor y haberme ayudado con el proyecto y a Eugenio Trillo por los conocimientos transmitidos y la disponibilidad mostrada.

*Abraham Marqués Valderrama*

*Máster en Ingeniería Industrial*

*Sevilla, 2023*



Este trabajo surgió con la motivación de aprender y plantear soluciones acordes a las necesidades energéticas que plantea nuestra sociedad para las próximas décadas. Cuando realicé mi Trabajo Fin de Grado (2020), la tecnología solar fotovoltaica estaba en sus años de máximo desarrollo. Ahora, casi tres años después, nos encontramos con la gran apuesta europea y mundial por el hidrógeno. Este vector energético está llamado a ser uno de los pilares en los que se basen las soluciones para descarbonizar el sistema energético mundial.

Tomando como base mi Trabajo Fin de Grado, el cual fue el desarrollo de una planta solar fotovoltaica para cubrir la demanda energética de La Rinconada, he procedido a diseñar una planta de hidrógeno. Esta aprovechará el excedente de energía cuando la producción sea mayor a la demanda para producir hidrógeno. Este proyecto va en total sintonía con la apuesta que quieren hacer los países europeos para descarbonizar la producción energética.

A lo largo de la presente memoria se planteará la tecnología necesaria para la ejecución de esta planta de producción de hidrógeno. El estudio tiene como base la viabilidad económica. La pregunta a la que responderá este proyecto, y el cual es una de las principales actualmente en el sector del hidrógeno, es a qué precio se debe vender el hidrógeno para que sea económicamente rentable acometer este proyecto.



# Abstract

---

This project arose from the motivation of learning and thinking about fresh solutions in concordance with the new energy needs. When I realized my thesis for obtain my bachelor's degree, photovoltaic technology was in their years of maximum development. Currently, 3 years later, hydrogen is the biggest bet of Europe and the world. This energy vector is called to be one of the bases for the new solutions that will decarbonize the world energy system.

Starting from my bachelor's thesis, that was the design of a photovoltaic plant for cover the energy demand from La Rinconada, I decided to develop an hydrogen plant. This plant will take the surplus energy when production is bigger than demand to produce hydrogen. This project was thought in the same direction that the European guideline for decarbonize the energy production.

The needed technology for the execution of the hydrogen plant will be work out in this project work. This study has the economic feasibility as base. The question will be answered is: What should the hydrogen price of sale be in order to get an economically profitable project?

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xiv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvi</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xviii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>11</b>
<b>2 Procesos de obtención del hidrógeno</b>	<b>14</b>
2.1 <i>Hidrógeno marrón: Gasificación del carbón</i>	14
2.2 <i>Hidrógeno gris: Reformado del gas natural</i>	15
2.3 <i>Hidrógeno azul: Reformado de gas natural con captura de CO<sub>2</sub></i>	17
2.4 <i>Hidrógeno rosa: Generado mediante energía nuclear</i>	18
2.5 <i>Hidrógeno verde: Generado mediante fuentes renovables</i>	18
<b>3 Electrólisis</b>	<b>19</b>
3.1 <i>Tecnologías de electrolizadores</i>	19
3.1.1 Alcalinos	19
3.1.2 PEM (Proton Exchange Membrane)	20
3.1.3 SOEC: Electrolito de óxido sólido	21
3.1.4 AEM: Electrólisis de intercambio aniónico	22
3.2 <i>Eficiencia de la electrólisis</i>	22
3.2.1 Eficiencia de Farady	22
3.2.2 Eficiencia de voltaje	23
3.2.3 Eficiencia de corriente continua	23
3.2.4 Eficiencia del sistema	23
3.3 <i>Principales fabricantes de electrolizadores</i>	25
3.3.1 McPhy	25
3.3.2 SUNFIRE	26
3.3.3 TIANJIN MAINLAND HYDROGEN EQUIPMENT CO., LTD.	27
3.3.4 GREEN HYDROGEN SYSTEMS	28
3.3.5 ITM Power	28
3.3.6 NEL	29
3.3.7 PLUG POWER	31
3.3.8 H-TEC	32
3.3.9 H2B2	33
<b>4 Punto de partida</b>	<b>34</b>
4.1 <i>Elementos de partida</i>	34
4.2 <i>Equipos principales en un parque fotovoltaico</i>	35
4.2.1 Módulo fotovoltaico:	35
4.2.2 String:	36
4.2.3 String box (caja de conexiones)	36

4.2.4	Tracker (seguidor)	36
4.2.5	Inversor:	37
4.2.6	Centro de transformación:	37
4.3	<i>Subdivisiones de la configuración del parque fotovoltaico</i>	37
4.4	<i>Producción de la planta</i>	38
4.5	<i>Demanda de la red (La Rinconada)</i>	41
<b>5</b>	<b>Ingeniería básica planta de producción y almacenamiento de hidrógeno</b>	<b>43</b>
5.1	<i>Puntos de partida para el diseño</i>	45
5.2	<i>Dimensionado del electrolizador</i>	46
5.2.1	Elección de marca y casos a estudiar	46
5.2.2	Estudio sensibilidad electrolizadores	46
5.3	<i>Decisión sobre el electrolizador basada en rentabilidad económica</i>	54
5.3.1	Coste electrolizador	54
5.4	<i>Almacenaje</i>	57
5.4.1	Caso 1: Almacenar Hidrógeno en las condiciones de salida del electrolizador.	58
5.4.2	Caso 2: Aumentar la presión previo a almacenamiento	59
5.4.3	Número necesario de tanques de almacenamiento	61
5.5	<i>Decisión sobre almacenaje basada en rentabilidad económica</i>	62
5.6	<i>Solución adoptada</i>	64
<b>6</b>	<b>Análisis económico de la instalación</b>	<b>66</b>
6.1	<i>Venta electricidad a red</i>	66
6.2	<i>Ejecución del proyecto de la planta de hidrógeno</i>	69
6.3	<i>Viabilidad económica del proceso de inversión</i>	70
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>Anexos</b>	<b>76</b>
	<i>Anexo A: Planta fotovoltaica</i>	
	<i>Anexo B: Producción diaria planta fotovoltaica</i>	
	<i>Anexo C: Catálogo Electrolizadores H-TEC</i>	
	<i>Anexo D: Combinaciones de electrolizadores</i>	
	<i>Anexo E: Producción enero 2024</i>	
	<i>Anexo F: Catálogo de tanques de almacenamiento Lapesa</i>	
	<i>Anexo G: Análisis económico</i>	

## Referencias

## Bibliografía

# ÍNDICE DE TABLAS

---

<i>Tabla 1 Modelos electrolizadores Tianjin Mainland Hydrogen Equipment.</i>	27
<i>Tabla 2: Información general parque fotovoltaico.</i>	34
<i>Tabla 3 Características del parque fotovoltaico.</i>	35
<i>Tabla 4 Producción parque fotovoltaico 2 de enero de 2021.</i>	39
<i>Tabla 5 Producción parque fotovoltaico año 2021</i>	41
<i>Tabla 6 Demanda energética de La Rinconada año 2023.</i>	41
<i>Tabla 7 Demanda energética diaria. Ordenada de mayor a menor demanda.</i>	42
<i>Tabla 8 Acumulado energía mensual.</i>	44
<i>Tabla 9 Excedente energía diaria disponible para producir hidrógeno.</i>	44
<i>Tabla 10 Combinaciones de electrolizadores a estudiar.</i>	46
<i>Tabla 11 Datos energéticos de la planta para electrolizador 10 MW.</i>	47
<i>Tabla 12 Potencia excedente para producir hidrógeno.</i>	48
<i>Tabla 13 Electrolizadores para caso 4.</i>	48
<i>Tabla 14 Datos energéticos de la planta para caso 4.</i>	50
<i>Tabla 15 Resumen energético caso 4.</i>	50
<i>Tabla 16 Energía aprovechable por cada caso.</i>	50
<i>Tabla 17 Energía necesaria para producir hidrógeno para cada tramo de potencia.</i>	53
<i>Tabla 18 Producción hidrógeno anual caso 1.</i>	53
<i>Tabla 19 Producción para cada combinación de electrolizadores.</i>	54
<i>Tabla 20 Características técnicas modelos tanques de almacenamiento Lapesa.</i>	58
<i>Tabla 21 Caso 1. Condiciones del hidrógeno.</i>	58
<i>Tabla 22 Propiedades del hidrógeno en condiciones 1 y 2.</i>	60
<i>Tabla 23 Condiciones finales. Condiciones del hidrógeno.</i>	60
<i>Tabla 24 Comparativa condiciones iniciales y finales del hidrógeno.</i>	61
<i>Tabla 25 Caso 1. Estudio del número de tanques y días en los que es necesario más de 1 retirada.</i>	62
<i>Tabla 26 Caso 2. Estudio del número de tanques y días en los que es necesario más de 1 retirada.</i>	62
<i>Tabla 27 Soluciones de almacenamiento a estudiar.</i>	62
<i>Tabla 28 Coste estimado de cada solución.</i>	64
<i>Tabla 29 Cálculo rentabilidad planta de producción de hidrógeno.</i>	74



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>Ilustración 1 Dibujo que representa a William Nicholson y Anthony Carlisle con su pila galvánica.</i>	11
<i>Ilustración 2 Pila de combustible de William Robert Grove</i>	12
<i>Ilustración 3 Vías de obtención del hidrógeno. Fuente: Enel.</i>	14
<i>Ilustración 4 Proceso de gasificación del carbón. Fuente: Naturgy.</i>	15
<i>Ilustración 5 Tipos de reformado de gas natural en función del agente oxidante. Fuente: Naturgy.</i>	16
<i>Ilustración 6 Proceso de reformado de gas natural. Fuente: Naturgy.</i>	17
<i>Ilustración 7 Proceso de reformado de gas natural con captura de CO<sub>2</sub>. Fuente: Naturgy.</i>	17
<i>Ilustración 8 Proceso de la electrólisis. Fuente: NEL</i>	19
<i>Ilustración 9 Configuración electrolizador alcalino. Fuente: sbdh4.de</i>	19
<i>Ilustración 10 Datos de interés de electrolizadores alcalinos. Fuente: Naturgy.</i>	20
<i>Ilustración 11 Configuración electrolizador PEM. Fuente: sbdh4.de</i>	20
<i>Ilustración 12 Datos de interés de electrolizadores PEM. Fuente: Naturgy.</i>	21
<i>Ilustración 13 Configuración electrolizador SOEC. Fuente: Naturgy.</i>	21
<i>Ilustración 14 Datos de interés de electrolizadores SOEC. Fuente: Naturgy.</i>	22
<i>Ilustración 15 Condiciones de contorno para sistemas de producción de hidrógeno. Fuente: SIEMENS.</i>	22
<i>Ilustración 16 Eficiencia del sistema en función de la potencia de trabajo. Fuente: SIEMENS</i>	24
<i>Ilustración 17 Características electrolizadores McPhy Serie Piel</i>	25
<i>Ilustración 18 Característica electrolizadores McPhy Serie McLyzer</i>	25
<i>Ilustración 19 Electrolizadores aumentados McPhy</i>	26
<i>Ilustración 20 Emplazamiento planta de hidrógeno de 20 MW en Holanda. Fuente: djewels.eu</i>	26
<i>Ilustración 21 Características electrolizador SUNFIRE.</i>	27
<i>Ilustración 22 Electrolizador ITM Power HGASISP.</i>	28
<i>Ilustración 23 Electrolizador ITM Power 3MEP CUBE.</i>	29
<i>Ilustración 24 Características técnicas electrolizadores alcalinos NEL</i>	30
<i>Ilustración 25 Electrolizador Plug EX - 425D.</i>	31
<i>Ilustración 26 Electrolizador H-TEC 10 MW HCS.</i>	32
<i>Ilustración 27 Emplazamiento parque fotovoltaico.</i>	35
<i>Ilustración 28 Módulo fotovoltaico marca Recom.</i>	36
<i>Ilustración 29 Caja de conexiones marca Ingeteam.</i>	36
<i>Ilustración 30 Seguidor marca Axial</i>	37
<i>Ilustración 31 Inversor marca Ingeteam</i>	37
<i>Ilustración 32 Centro de transformación marca Ingeteam</i>	37
<i>Ilustración 33 Ubicación de las 6 islas del parque en el terreno.</i>	38
<i>Ilustración 34: Distribución módulos correspondientes a cada inversor.</i>	38
<i>Ilustración 35 Producción parque fotovoltaico 2 de enero de 2021.</i>	40

<i>Ilustración 36 Producción parque fotovoltaico enero 2021.</i>	40
<i>Ilustración 37 Perfil diario de demanda de potencia 1 de julio de 2023.</i>	42
<i>Ilustración 38 Gráficos potencias 2 de enero 2023.</i>	43
<i>Ilustración 39 Rendimiento de un electrolizador en función de la densidad de corriente (j).</i>	51
<i>Ilustración 40 Rendimiento electrolizador en función de la potencia (% respecto a nominal).</i>	52
<i>Ilustración 41 Rendimiento del electrolizador para cada rango de potencia.</i>	52
<i>Ilustración 42 Estimación coste electrolizador. Fuente: HyJack.</i>	55
<i>Ilustración 43 Coste de cada electrolizador en función de la potencia.</i>	55
<i>Ilustración 44 Inversión a realizar para cada combinación de electrolizadores.</i>	55
<i>Ilustración 45 Estimación del coste de producción anual por kilogramo para cada combinación.</i>	56
<i>Ilustración 46 Rentabilidad de cada combinación ordenada de mayor a menor.</i>	56
<i>Ilustración 47 Producción diaria de hidrógeno para el caso seleccionado.</i>	57
<i>Ilustración 48 Producción diaria de hidrógeno para el caso seleccionado.</i>	61
<i>Ilustración 49 Estimación del coste de un tanque de almacenamiento. Fuente: hyjack.tech.</i>	63
<i>Ilustración 50 Estimación del coste de un compresor. Fuente: hyjack.tech.</i>	64
<i>Ilustración 51 Curva de rendimiento anual del módulo fotovoltaico Black Panther RCM-340-6MA.</i>	67
<i>Ilustración 52 Variación del rendimiento de la planta y la demanda energética anual.</i>	68
<i>Ilustración 53 Datos energéticos a lo largo de la vida del proyecto (20 años).</i>	68
<i>Ilustración 54 Ingresos por venta de la energía a lo largo de la vida del proyecto (20 años).</i>	69
<i>Ilustración 55 Principales datos energéticos y de producción de hidrógeno durante los 20 años de vida del proyecto.</i>	70
<i>Ilustración 56 Tabla de Pérdidas y Ganancias y Cash Flow para el caso de vender todo el excedente de energía.</i>	71
<i>Ilustración 57 Tabla de Pérdidas y Ganancias y Cash Flow para el caso de ejecutar la planta de hidrógeno.</i>	72



# 1 INTRODUCCIÓN

---

Hidrógeno, del latín “hydrogenium”. La palabra latina procede de la unión de dos palabras griegas:

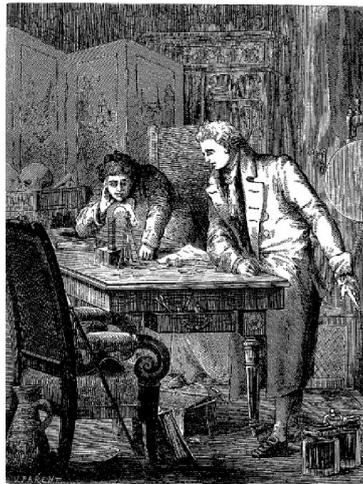
- “Hydros”, que quiere decir agua.
- “Genes”, que quiere decir generador o creador.

Por lo tanto, se puede concluir el significado original de la palabra hidrógeno es generador de agua.

El descubrimiento del hidrógeno se le atribuye a Henry Cavendish, físico y químico británico-francés del siglo XVIII. El hallazgo lo logró mezclando zinc con ácido clórico, del cual obtuvo un gas al que llamó aire inflamable. Este gas era hidrógeno. El científico se interesó por ver cómo reaccionaba este gas con otras sustancias, entre ellas el aire. Observó que su “aire inflamable” al entrar en contacto con el aire generaba agua. De este modo se descubrió la composición del agua.

Unos años más tarde, en 1783, Antoine Lavoisier nombra al “aire inflamable” que consiguió Cavendish como hidrógeno porque generaba agua.

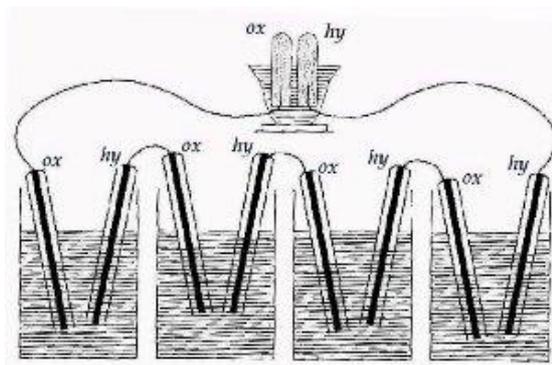
La primera electrólisis, el cual es un proceso que permite separar los elementos que componen el agua, se dio en 1800. Los británicos William Nicholson y Anthony Carlisle lograron disociar el agua usando una pila galvánica.



*Ilustración 1 Dibujo que representa a William Nicholson y Anthony Carlisle con su pila galvánica.*

Actualmente, y fruto de ello es la elaboración de este Trabajo Fin de Máster, el apoyarse en el almacenamiento de hidrógeno como vector energético para conseguir electricidad está considerado como una de las principales vías de presente y futuro para reducir las emisiones netas de carbono. Aunque pueda parecer algo novedoso, la realidad es que ya en 1839 se realizó este proceso. Fue William Robert Grove el primero en diseñar la pila de combustible, un concepto muy de moda hoy en día en lo referido a esta tecnología.

El inglés era juez, pero físico por vocación. Elaboró lo que él catalogó como “batería de gas”. Estaba compuesta por un electrodo de hidrógeno y otro de oxígeno, separados por un electrolito. De este modo, consiguió realizar el proceso inverso a la disociación del agua. Con hidrógeno y oxígeno conseguía agua y una corriente eléctrica. Fue el comienzo de la actual pila de combustible.



*Ilustración 2 Pila de combustible de William Robert Grove*

Si seguimos navegando en la historia, nos encontramos con que a principios del siglo XX el hidrógeno ya se usó para los medios de transporte. Nuestra generación no lo ha vivido, pero hace escasamente un siglo uno de los vehículos usados para el transporte por aire era el dirigible (zeppelin). Normalmente los dirigibles funcionaban con helio, pero para la construcción del LZ 129 Hindenburg se decidió utilizar hidrógeno debido al embargo del ejército estadounidense sobre el helio.

Este dirigible obtuvo muy buenos resultados, cruzando el océano atlántico en 17 ocasiones. Todo se truncó el 6 de mayo de 1937. Tras realizar un viaje transatlántico, el LZ 129 Hindenburg se accidentó cuando se disponía a amarrarse en Nueva Jersey. Se originó un incendio, para el que la teoría más aceptada fue que una fuga de hidrógeno en contacto con una chispa de electricidad estática provocada por un relámpago ocasionó el desastre. Murieron 35 de 97 pasajeros. La repercusión mediática fue tal que este hecho ocasionó el fin de los dirigibles.

El hidrógeno también ha tenido su presencia en la carrera espacial. Uno de sus usos fue el generar electricidad a través de pila de combustible en las misiones Apolo. También se usó en los motores del Saturn V (primer lanzamiento 1967). Este fue un cohete usado en los programas Apolo y Skylab de la NASA diseñado por Wernher von Braun. Los vuelos del Saturn V pasaban por tres fases. En las dos segundas, el combustible a emplear era hidrógeno líquido.

Ya a finales del siglo pasado se desarrollaron muchos estudios enfocados a la obtención de hidrógeno. Cabe destacar que el hidrógeno es un producto que se utiliza en gran medida desde hace muchísimos años. Tan solo en España, el consumo anual de esta materia es de 500 000 toneladas anuales. Principalmente, se usa como materia prima en la industria del refino (70 %) y en la fabricación de productos químicos (25 %) [1]. En la actualidad, las vías de obtención del hidrógeno que se usan en estas industrias tienen unas emisiones de carbono muy elevadas. Uno de los principales retos que existen en la actualidad es suplir toda esta demanda con hidrógeno procedente de fuentes renovables.

En este trabajo, se abordará un estudio sobre la viabilidad de realizar una planta de producción de hidrógeno a partir del excedente de producción de una planta solar fotovoltaica. Este tipo de proyectos son de gran interés en la actualidad, ya que el sistema energético demanda nuevas formas de gestión de la energía que aborden el inconveniente de almacenar sin emisiones de carbono los excedentes de las fuentes renovables para poder usarlos cuando la demanda lo requiera.

En esta memoria, se planteará la ingeniería básica para realizar la planta de producción de hidrógeno. Se comenzará realizando una exposición sobre los distintos procesos que se consideran en la actualidad para producir hidrógeno. La clasificación expuesta adopta como apellido un color en función de las emisiones de dióxido de carbono que tiene el proceso.

Se continuará con explicando el equipo de mayor importancia en una planta de producción de hidrógeno: el electrolizador. En él se realiza el proceso de disociar el agua en hidrógeno y oxígeno. Se mostrarán también los principales fabricantes de estos equipos en la actualidad.

Una vez planteada la tecnología, se pasará al diseño. Se iniciará tomando como partida una planta fotovoltaica que se diseñó para cubrir la demanda energética de La Rinconada. Este parque fotovoltaico produce

anualmente la energía total demandada por el municipio, pero no satisface la demanda de potencia. Por ello, hay horas en las que hay excedente de producción energético. Esta energía será la que se utilice en la planta de producción para producir hidrógeno.

Para el diseño, se realizará un estudio de los dos principales equipos presentes en una planta de producción y almacenamiento. El equipo encargado de producir hidrógeno es el electrolizador y el encargado del almacenaje es un tanque. Primeramente, se estudiarán una serie de combinaciones de electrolizadores para conocer la producción que permite alcanzar cada una de ellas. Una vez conocidas, se presentará un estudio de rentabilidad económica para conocer cuál de las combinaciones planteadas es la más interesante desde el punto de vista económico.

Cuando se haya tomado la decisión sobre el electrolizador, se seguirá la misma lógica para la elección de los tanques de almacenamiento.

Por último, se presentará el estudio económico de la planta de hidrógeno. Se estudiará la viabilidad comparándola con los beneficios que se obtendrían si el excedente eléctrico se vertiera a red en lugar de utilizarlo para producir hidrógeno. En otras palabras, se calculará el precio al que se debe vender el hidrógeno para que ejecutar la planta sea más rentable que vender la energía a la red.

## 2 PROCESOS DE OBTENCIÓN DEL HIDRÓGENO

Existe una gran variedad de formas de obtener hidrógeno. En este apartado se explicarán los principales procesos. En la actualidad, al hidrógeno se le añade un color para determinar su procedencia. En función de sus emisiones de carbono se le asigna un color u otro. Por ejemplo, el hidrógeno verde es aquel que procede de fuentes renovables, por lo que sus emisiones de carbono se pueden considerar prácticamente nulas.

Existen algunas diferencias sobre esta clasificación por colores en función de la fuente a tomar. Para este análisis, se toma la clasificación de un documento de ENEL sobre el uso del hidrógeno como solución de descarbonización. Nos plantea la siguiente clasificación:

**How can hydrogen be produced without having an impact on the environment?**

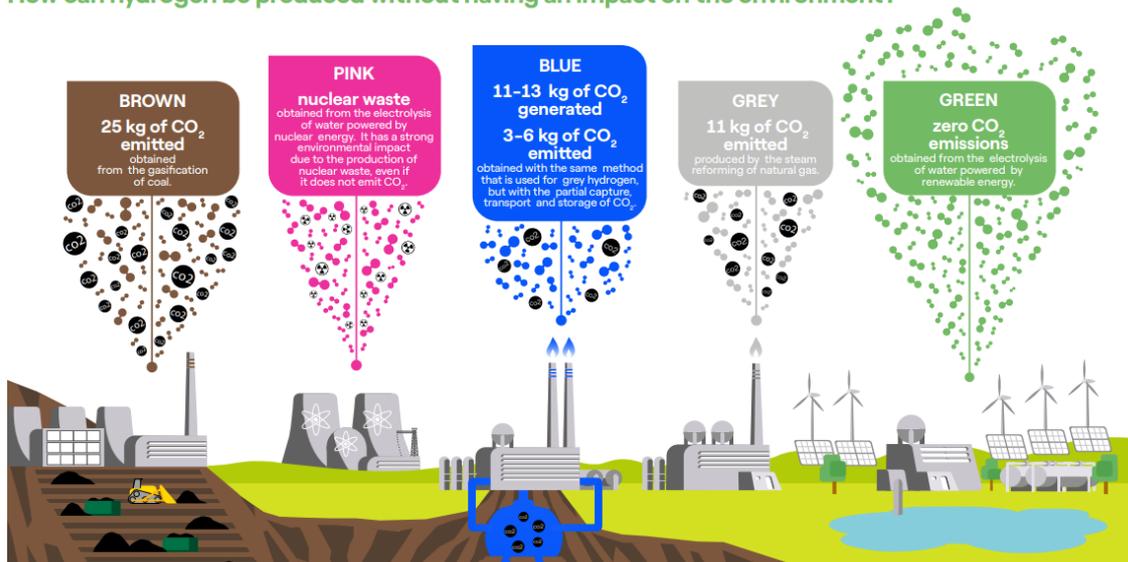


Ilustración 3 Vías de obtención del hidrógeno. Fuente: Enel.

### 2.1 Hidrógeno marrón: Gasificación del carbón

**Emisiones: 25 kg de CO<sub>2</sub> por cada 1 kg de H<sub>2</sub>.**

Es el segundo proceso más utilizado para obtener hidrógeno. El primero es el reformado de gas natural. En el mundo existen unas 130 plantas de gasificación de carbón, de las cuales el 80% se encuentran en China. La mezcla resultante posee hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, gas natural y vapor de agua. Esta mezcla es el denominado gas ciudad.

Este proceso se realiza a gran escala actualmente debido a las grandes existencias de carbón. Es un proceso con un impacto ambiental muy negativo. Países como Estados Unidos y China utilizan la gasificación del carbón para asegurar su independencia energética.

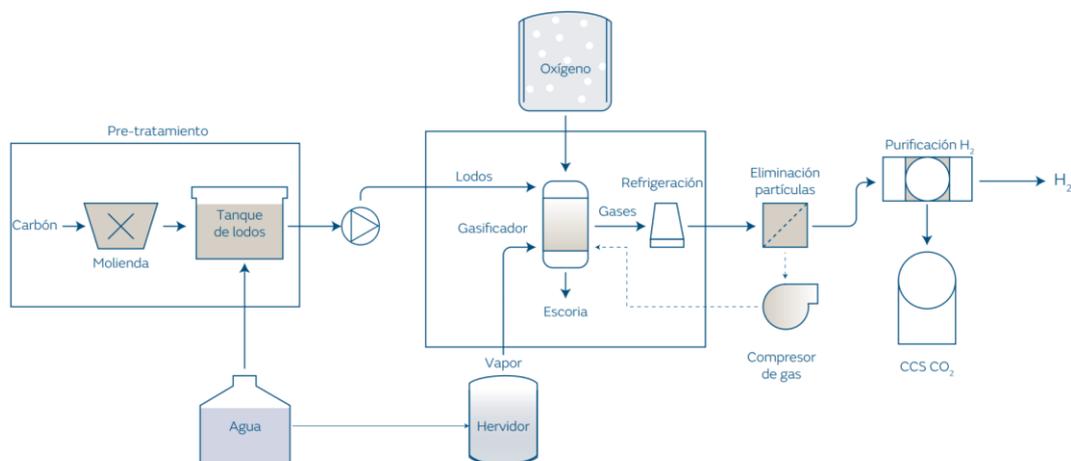
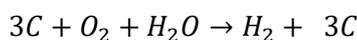
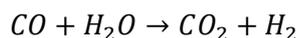


Ilustración 4 Proceso de gasificación del carbón. Fuente: Naturgy.

La estequiometría simplificada de la gasificación del carbón es la siguiente:



Para la purificación del hidrógeno se lleva a cabo un proceso de reformado, el cual se conoce como reacción de desplazamiento con vapor (Water Gas Swift):



## 2.2 Hidrógeno gris: Reformado del gas natural

*Emisiones: 11 kg de CO<sub>2</sub> por cada kg de H<sub>2</sub>.*

Se considera hidrógeno gris al producido a través de recursos fósiles y su proceso tiene grandes emisiones de carbono a la atmósfera. Este proceso se basa en la descomposición de la molécula de metano en hidrógeno y óxidos de carbono. Para que se dé el reformado del gas natural deben darse tres condiciones:

- Alta temperatura (700 – 1100 °C).
- Presencia de un catalizador en base níquel.
- Presencia de un agente oxidante (agua y/o aire).

En función del agente oxidante se tienen tres tipos de producción. Si el agente oxidante es:

- Vapor de agua: reformado con vapor.
- Oxígeno o aire: oxidación parcial.
- Combinación de los dos anteriores: reformado autotérmico.

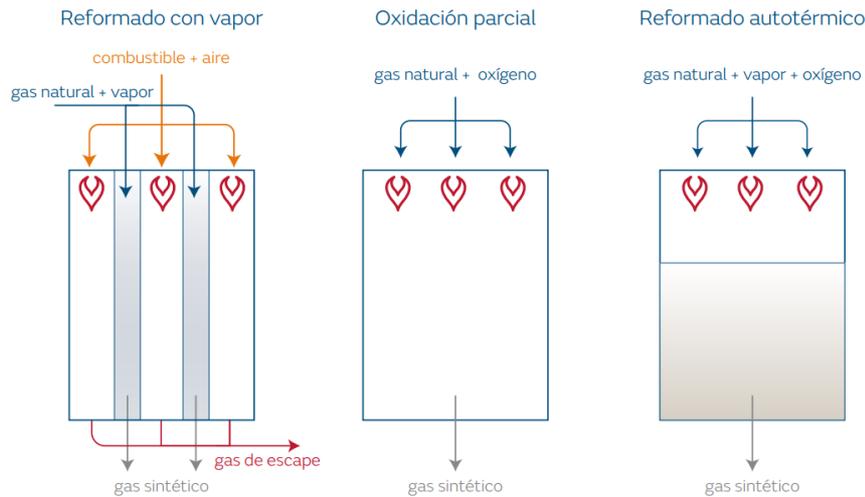
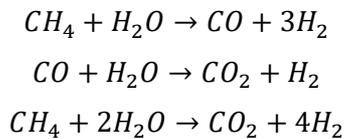


Ilustración 5 Tipos de reformado de gas natural en función del agente oxidante. Fuente: Naturgy.

De los agentes oxidantes, el más utilizado es el vapor de agua. A este tipo de proceso se le conoce como SMR (Steam Methane Reforming). Se dan dos reacciones.

- 1- Descomposición parcial del metano en monóxido de carbono y agua. Reacción exotérmica ( $\Delta H_r = 206$  kJ/mol)
- 2- Desplazamiento del agua y gas. Se aumenta la producción de hidrógeno. Reacción exotérmica ( $\Delta H_r = -41$  kJ/mol)

Ecuaciones:



El proceso de producción de hidrógeno mediante reformado de gas natural se basa en 4 etapas en serie. Es independiente del agente oxidante utilizado. Estas etapas son:

- Desulfuración del gas natural donde se elimina un 99 % del azufre que contiene. Se obtiene un gas con menos de 0,1 ppm de  $H_2S$ .
- Reformado. Se mezcla el gas obtenido de la desulfuración con el agente oxidante. Vapor de agua en la mayoría de los casos. La temperatura se incrementa hasta los 700 – 900 °C.
- Desplazamiento del gas. Se convierte el monóxido de carbono en dióxido de carbono. También se incrementa la cantidad de hidrógeno producido.
- Purificación. Se separa el hidrógeno del resto de componentes del gas.

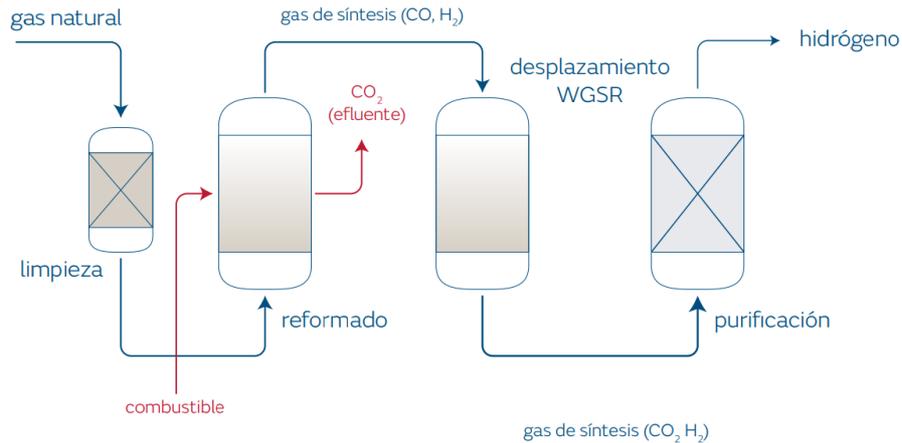


Ilustración 6 Proceso de reformado de gas natural. Fuente: Naturgy.

## 2.3 Hidrógeno azul: Reformado de gas natural con captura de CO<sub>2</sub>

**Emisiones: 3 – 6 kg de CO<sub>2</sub> por cada kg de H<sub>2</sub>.**

Se considera hidrógeno azul al generado con recursos fósiles, pero al que se le aplican unos tratamientos para que disminuir las emisiones de carbono a la atmósfera. Esto se realiza mediante uso de tecnologías de captura o secuestro. Este proceso ofrece dos ventajas claras.

- 1- Suministro de CO<sub>2</sub> a industrias a un coste bajo.
- 2- Reducción del impacto ambiental en la producción de hidrógeno.

En el reformado del gas natural se puede reducir un 60 - 75 % las emisiones de CO<sub>2</sub> solamente tratando la reacción. No haría falta tratar los elementos auxiliares que trabajan en el reformado. El proceso más común es el de la captura de CO<sub>2</sub> mediante absorción con aminas.

La tecnología se basa en utilizar el gas del reformado a baja temperatura junto con una solución de aminas.

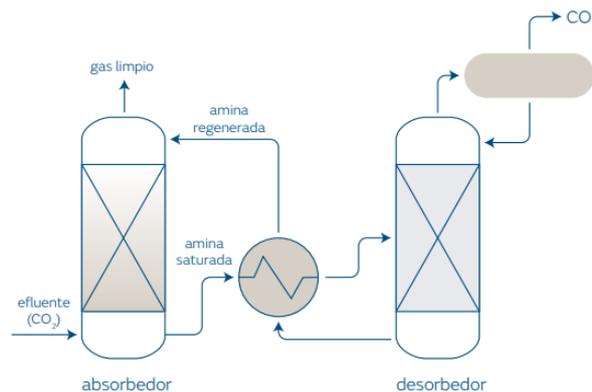


Ilustración 7 Proceso de reformado de gas natural con captura de CO<sub>2</sub>. Fuente: Naturgy.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> no capturadas provienen de los procesos auxiliares necesarios para llevar a cabo el proceso de reformado. Principalmente, se trata de la combustión necesaria para subir la temperatura hasta el punto requerido para poder realizar el reformado. Aquí también se podría realizar un proceso de captura para reducir aún más las emisiones.

Según un estudio del departamento de energía y procesos energéticos de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, la eficiencia del proceso de captura de CO<sub>2</sub> en el proceso de reformado de gas para obtener hidrógeno puede alcanzar el 96 % [2].

## 2.4 Hidrógeno rosa: Generado mediante energía nuclear

*Emisiones: ~0 kg de CO<sub>2</sub> por cada kg de H<sub>2</sub>.*

Se considera hidrógeno rosa a aquel producido mediante electrólisis con energía proveniente de fuentes nucleares. Tiene ventajas muy interesantes, como es la producción constante durante las 24 h del día. Se puede considerar que tiene emisiones nulas de CO<sub>2</sub>. Genera residuos nucleares, los cuales si son tratados adecuadamente no generan un impacto significativo en el ambiente.

En contraposición tienen la oposición de algunos sectores al uso de la energía nuclear, pero es un método muy a tener en cuenta debido a que se puede generar de manera constante, algo de lo que no son capaces fuentes renovables como la eólica o la solar.

## 2.5 Hidrógeno verde: Generado mediante fuentes renovables

*Emisiones: ~0 kg de CO<sub>2</sub> por cada kg de H<sub>2</sub>.*

Se considera hidrógeno verde a aquel producido con energía proveniente de fuentes renovables como la eólica o la solar. El hidrógeno marrón, gris y azul usan como materia prima recursos fósiles. En este caso, la materia prima utilizada es el agua.

Como se ha comentado anteriormente, el hidrógeno azul puede llegar a tener emisiones de carbono muy bajas si se consigue implementar un proceso de captura muy eficiente. La diferencia entre ambos es la materia prima utilizada.

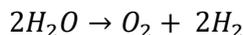
El concepto de hidrógeno verde se creó para definir el proceso de producción de hidrógeno mediante la electrólisis del agua con energía proveniente de fuentes renovables. Realmente, hay más formas de obtener hidrógeno verde. Algunas de ellas son la gasificación de la biomasa, el reformado de biocombustibles y los ciclos termoquímicos.

Actualmente, el proceso por el que más se está apostando es por la electrólisis del agua para conseguir hidrógeno de forma limpia. Existen principalmente cuatro tecnologías para ello, las cuales se expondrán en el siguiente punto.

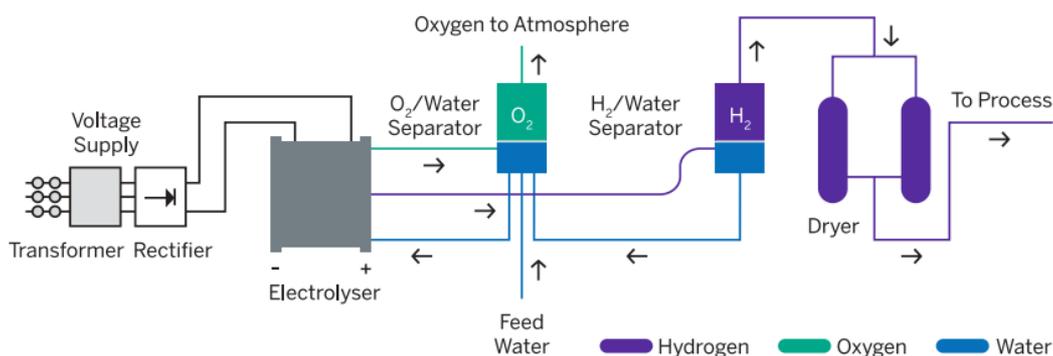
# 3 ELECTRÓLISIS

La electrólisis es el método por el cual se separa una molécula de agua en hidrógeno y oxígeno. Esta se realiza en un electrolizador, el cual es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía química.

La reacción básica de la disociación del agua es:



En los electrolizadores este proceso se da mediante una reacción redox.



Electrolysis is the process of splitting the water molecule into hydrogen and oxygen using electricity. The inputs to this process are simply feed water and the current supplied to the electrolyser.

Ilustración 8 Proceso de la electrólisis. Fuente: NEL

En la actualidad, existen principalmente cuatro tecnologías de electrolizadores: Alcalinos, PEM (Proton Exchange Membrane), AEM (Anion Exchange Membrane) y SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell).

A continuación, se explican las características de cada uno de ellos.

## 3.1 Tecnologías de electrolizadores

### 3.1.1 Alcalinos

Son los electrolizadores más desarrollados. Están compuestos por dos electrodos sumergidos en un electrolito de hidróxido de potasio. Suele ser una disolución de un 25 – 30 % en agua. La fuente de energía utilizada es 100 % eléctrica. Debido al electrolito, el tiempo de respuesta es algo lento. Por lo tanto, la eficiencia se ve limitada.

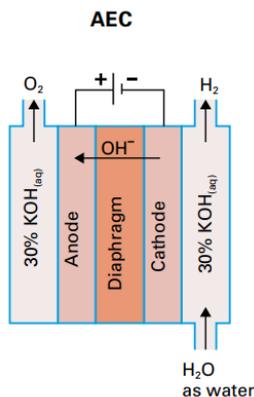


Ilustración 9 Configuración electrolizador alcalino. Fuente: sbdh4.de

La densidad de corriente presente en este tipo de electrolizador es de unos  $0,5 \text{ A/cm}^2$ . Las presiones de salida pueden llegar a 40 bar. La temperatura de la célula ronda los  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Es la tecnología de mayor madurez y menor coste de inversión, pero tienen baja producción comparados con otras tecnologías.

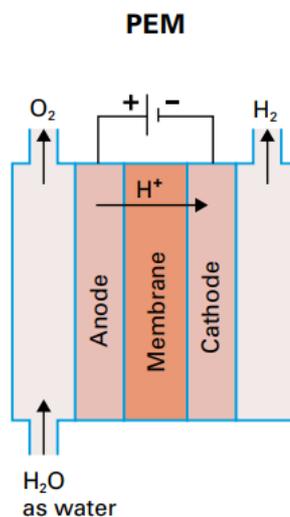
Producción de hidrógeno vía electrólisis AEC			actual	2024	2030
Sistema genérico					
1	Consumo eléctrico a capacidad nominal	kWh/kg	51	49	48
2	Coste capital	€/kW	750	480	400
3	Costes de O&M	€/(kg/día)/año	32	20	16
Stack					
3	Tasa de degradación	%/1.000 h	0,13	0,11	0,10
4	Densidad de corriente	A/cm <sup>2</sup>	0,5	0,7	0,8
5	Uso de materias primas críticas como catalizadores	mg/W	7,3	2,1	0,7

*Ilustración 10 Datos de interés de electrolizadores alcalinos. Fuente: Naturgy.*

### 3.1.2 PEM (Proton Exchange Membrane)

Como diferencia respecto a los alcalinos, los tipo PEM no tienen electrolito líquido. Por lo tanto, tampoco requieren de los equipos auxiliares que tienen los alcalinos como bomba o equipos de separación de gases.

Al usar un electrolito sólido tienen un diseño más compacto. Son la segunda tecnología más madura. Como ventajas presentan alta eficiencia en las celdas, altas densidades de corriente y capacidad de proporcionar hidrógeno comprimido. Tienen la posibilidad de arranque rápido y permiten modos de operación flexible.



*Ilustración 11 Configuración electrolizador PEM. Fuente: sbdh4.de*

Como desventaja, los costes de inversión son bastante más altos que para un alcalino. Si actualmente el coste para los alcalinos puede ser de unos  $750 \text{ €/kW}$ , el coste de los PEM ronda los  $1200 - 2000 \text{ €/kW}$ . Entre 2 y 3 veces más caro.

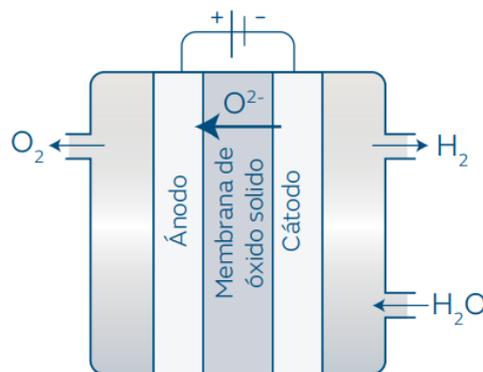
Producción de hidrógeno vía electrólisis PEM			actual	2024	2030
<b>Sistema genérico</b>					
1	Consumo eléctrico a capacidad nominal	kWh/kg	55-70	52	50
2	Coste capital	€/kW	1.200-2.000	700	500
3	Costes de O&M	€/(kg/día)/año	58	30	21
<b>Sistema específico</b>					
4	Tiempo de rampa inactiva en caliente	seg	10	1	1
5	Tiempo de rampa de arranque en frío	seg	120	10	10
6	Espacio requerido	m <sup>2</sup> /MW	120	80	45
<b>Stack</b>					
7	Tasa de degradación	%/1.000 h	0,250	0,125	0,12
8	Densidad de corriente	A/cm <sup>2</sup>	2,0	2,4	2,5
9	Uso de materias primas críticas como catalizadores del grupo platino	mg/W	5,0	1,25	0,4
10	Uso de materias primas críticas como catalizadores Pt	mg/W	1,0	0,4	0,1

*Ilustración 12 Datos de interés de electrolizadores PEM. Fuente: Naturgy.*

### 3.1.3 SOEC: Electrolito de óxido sólido

Es una de las tecnologías menos madura, pero con las mejores eficiencias. Su electrolito está compuesto de un material cerámico sólido, permitiendo de forma selectiva el paso de iones de oxígeno.

Trabajan a unas temperaturas que oscilan entre los 650 y 1000 °C. Se espera que en los próximos años esta temperatura de operación se pueda disminuir hasta los 500 – 700 °C.



*Ilustración 13 Configuración electrolizador SOEC. Fuente: Naturgy.*

Además de su gran eficiencia, tienen como ventaja que son reversibles. Por lo tanto, también pueden funcionar como pila de combustible.

Producción de hidrógeno vía electrólisis SOEC			actual	2024	2030
<b>Sistema genérico</b>					
1	Consumo eléctrico a capacidad nominal	kWh/kg	41-40	39	37
2	Disponibilidad	%	95 %	98 %	99 %
3	Coste capital	€/ (kg/día)	12.000-4.500	2.400	1.500
4	Costes de O&M	€/ (kg/día)/año	600-225	120	75
<b>Sistema específico</b>					
5	Eficiencia reversible	%	50-54 %	57 %	60 %
6	Capacidad de reversibilidad	%	20-25 %	30 %	40 %
<b>Stack</b>					
7	Tasa de degradación	%/1.000 h	2,8-1,9	1,2	0,5

Ilustración 14 Datos de interés de electrolizadores SOEC. Fuente: Naturgy.

### 3.1.4 AEM: Electrólisis de intercambio aniónico

Combina los materiales alcalinos con la simplicidad y eficiencia de los PEM. Son la tecnología menos madura de las cuatro presentadas. Tienen algunos problemas de estabilidad eléctrica y química. Están todavía en la fase inicial de desarrollo.

El electrolizador puede alcanzar presiones de salida en la corriente de hidrógeno de hasta 35 bar. La temperatura de la celda ronda los 60 °C.

## 3.2 Eficiencia de la electrólisis

En este apartado se detallarán algunos cocientes y gráficas útiles para entender el funcionamiento de un electrolizador. Como en cualquier sistema, la definición de los límites del sistema es básico a la hora de estudiar el problema. En el caso de los electrolizadores ocurre lo mismo. En el siguiente esquema se puede entender qué límites son los que se suelen considerar al considerar los electrolizadores.

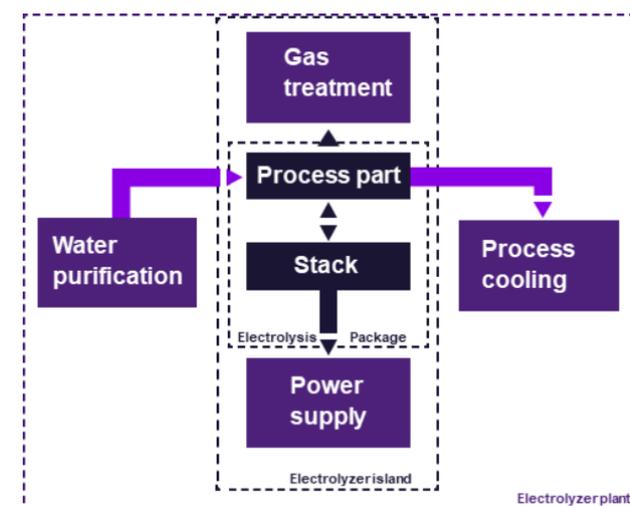


Figure 3: : Examples of system boundaries

Ilustración 15 Condiciones de contorno para sistemas de producción de hidrógeno. Fuente: SIEMENS.

### 3.2.1 Eficiencia de Farady

Viene definida por la cantidad de hidrógeno usable que realmente se genera y el que se podría haber generado bajo condiciones ideales. La diferencia entre el real y el ideal radica en las pérdidas en el proceso de

generación de hidrógeno. Estas pueden estar debidas a pérdidas a través de la membrana, corriente eléctrica perdida, hidrógeno que se pierde en la conversión, contaminación en la purificación del hidrógeno, ...

$$\eta_F = \frac{m_{real}}{m_{ideal}}$$

Donde m representa la masa de hidrógeno.

### 3.2.2 Eficiencia de voltaje

Se define como el cociente entre el voltaje termoneutro y el voltaje real que hay en la celda electrolítica. El voltaje termoneutro es aquel que debe existir para que la reacción de electrólisis tenga lugar desde un punto de vista termodinámico manteniendo constante la temperatura del reactor.

$$\eta_V = \frac{V_{termoneutro}}{V_{real}}$$

El voltaje real lo podemos descomponer en dos. En primer lugar, el voltaje termoneutro, el cual sería el ideal y en voltaje debido a sobretensiones:

$$\eta_V = \frac{V_{termoneutro}}{V_{termoneutro} + \sum Sobretensiones}$$

### 3.2.3 Eficiencia de corriente continua

Relaciona la energía eléctrica en corriente continua suministrada al electrolizador con la energía que finalmente posee aprovechable a la salida del electrolizador. La energía aprovechable se define como la cantidad de masa por el poder calorífico inferior del hidrógeno.

$$\eta_{cc} = \frac{\dot{m}_{H_2} \cdot PCI_{H_2}}{P_{elec}}$$

### 3.2.4 Eficiencia del sistema

Se define como la energía aprovechable una vez terminada el proceso respecto a la energía total suministrada al sistema. Como se ha comentado anteriormente, es muy importante definir el sistema que se está considerando para saber qué define este ratio.

$$\eta_{sistema} = \frac{\dot{m}_{H_2} \cdot PCI_{H_2}}{P_{suministrada}}$$

En la siguiente gráfica presentada en un estudio de Siemens sobre la eficiencia de la electrólisis se pueden apreciar la relación de la eficiencia respecto a la potencia de trabajo del electrolizador.

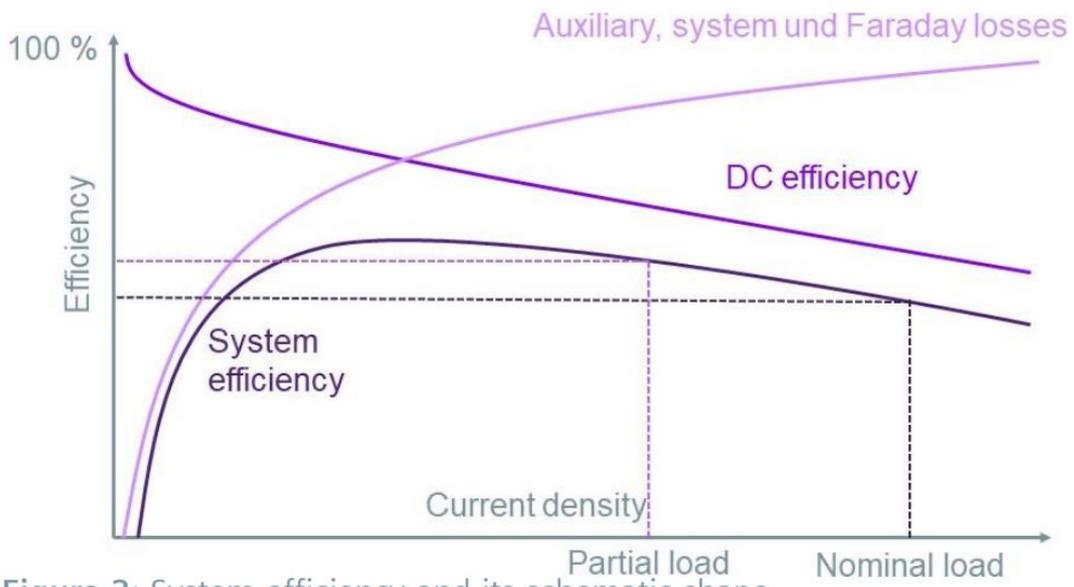


Figure 2: System efficiency and its schematic shape

Ilustración 16 Eficiencia del sistema en función de la potencia de trabajo. Fuente: SIEMENS

### 3.3 Principales fabricantes de electrolizadores

#### 3.3.1 McPhy

Esta empresa francesa ofrece opciones de electrolizadores de pequeña y mediana escala. La oferta de electrolizadores pequeños ofrece producciones que rondan entre los 0,4 y 20 Nm<sup>3</sup>/h. Las presiones de salida van desde 1 a 30 bar. Recomiendan su uso para procesos de soldadura, joyería e industrias ligeras.

También tienes electrolizadores con más alta producción. Aproximadamente, entre los 100 y 800 Nm<sup>3</sup>/h.

·**Serie Piel:** dedicados al sector de la orfebrería y la metalurgia. Cubren un gran espectro de aplicaciones desde la soldadura hasta la industria de los metales preciosos.

Trabajan a presiones bajas y consumen potencias entre 3 y 60 kW.

Series	Pressure (barg)	H <sub>2</sub> flow range (Nm <sup>3</sup> /h)	O <sub>2</sub> flow range (Nm <sup>3</sup> /h)	Electrical power range at nominal rate (kW)
Baby	1	0.4	0.2	3
P	1-2.5	1-1.6	0.5-0.8	6-9
M	1-2.5	2.4-4.4	1.2-2.2	14-26
H	4-8	3-10	1.5-5	18-60

*Ilustración 17 Características electrolizadores McPhy Serie Piel*

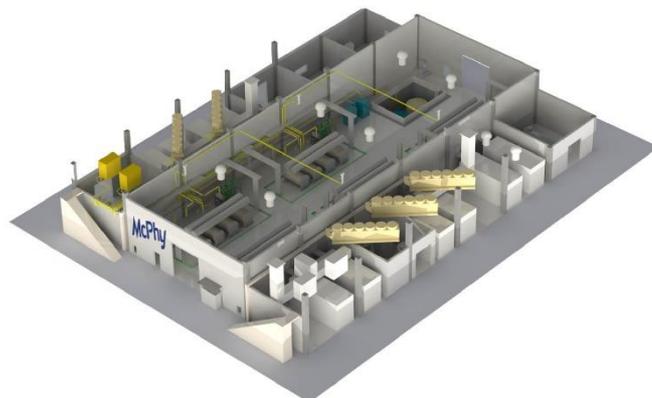
·**Serie McLyzer:** dedicados a la producción mediante electrólisis alcalina con electricidad de fuentes renovables. Ofrecen presiones de salida de 30 bar sin necesidad de compresión adicional. Ofrecen un alto rango de eficiencia energética y producciones entre 20 y 800 Nm<sup>3</sup>/h. La potencia requerida ronda desde los 100 kW para una producción de unos 20 Nm<sup>3</sup>/h y los 4 MW para una producción de 800 Nm<sup>3</sup>/h.

El primero de los modelos de esta serie lo catalogan como electrolizador pequeño, mientras que el resto lo consideran de gran escala.

	Model	Pressure (barg)	Nominal hydrogen flow rate (Nm <sup>3</sup> /h)	Power Class	DC Energy Consumption at nominal flow rate (kWh/Nm <sup>3</sup> )
Small	McLyzer 20-30	30	20	100 kW	4.5
	McLyzer 100-30	30	100	0.5 MW	4.5
Large	McLyzer 200-30	30	200	1 MW	4.5
	McLyzer 400-30	30	400	2 MW	4.5
	McLyzer 800-30 (core-module Augmented McLyzer)	30	800	4 MW	4.5

*Ilustración 18 Característica electrolizadores McPhy Serie McLyzer*

Electrolizadores aumentados: la empresa McPhy también ofrece la posibilidad de combinar sus electrolizadores de 4 MW para conseguir potencias de entre 20 y 100 MW a través de soluciones modularizadas. Ofrecen una gran eficiencia energética, son competitivos económicamente y el conjunto tiene un menor coste debido al modelo a gran escala. También argumentan que poseen una buena robustez y que son fáciles de instalar.



*Ilustración 19 Electrolizadores aumentados McPhy*

Las áreas de aplicación para los que lo consideran son para refinería, procesos químicos y grandes plantas de hidrógeno.

En 2020 la empresa McPhy fue la seleccionada para instalar la mayor planta de producción de hidrógeno de Europa. La potencia que ofrecerá serán 20 MW y posibilitará un ahorro anual de 3000 toneladas de CO<sub>2</sub>. Su ubicación está en Holanda.



*Ilustración 20 Emplazamiento planta de hidrógeno de 20 MW en Holanda. Fuente: djewels.eu*

### 3.3.2 SUNFIRE

Sunfire es una empresa alemana que se dedica a la fabricación de electrolizadores alcalinos y SOEC. En lo referido a los alcalinos, operan con diseños a gran escala. Las aplicaciones para las que proponen su producto son: acero, refinerías, plantas químicas, movilidad y energía. Ofrecen una vida útil de más de 20 años. El modelo ofrecido es de 10 MW, el cual es escalable.

Entre sus características, está la producción de hasta 2230 Nm<sup>3</sup>/h con una presión a la salida que puede alcanzar los 30 bares. Ofrecen una pureza de hidrógeno de 99,998 % tras la limpieza del gas. Su temperatura de trabajo alcanza los 85 °C.



HYLINK ALKALINE	
<b>Hydrogen production</b>	
Net production rate	2,230 Nm <sup>3</sup> /h
Production capacity dynamic range	20 % ... 100 %
Delivery pressure	30 bar (g) without additional compression
Hydrogen purity	≈ 99.6 % before gas cleaning**
Operation temperature	up to 85 °C
<b>Power input and electrical efficiency</b>	
Stack power rating (DC)	10,000 kW
Specific power consumption at system level (AC)	4.7 kWh/Nm <sup>3</sup>
System electrical efficiency*	64 %
<b>Feedstock</b>	
DeminerIALIZED water consumption	1.9 m <sup>3</sup> /h
Electrolyte	30 % KOH aqueous solution
<b>Other specs</b>	
Proven system runtime	≈ 20 years
Stack lifetime	≈ 90,000 h
Footprint***	≈ 450 m <sup>2</sup>
Ambient temperature	5 °C ... 40 °C

\* Lower heating value of hydrogen referred to AC power input  
 \*\* up to 99.998 % after gas cleaning  
 \*\*\* Average space requirement for a 10 MW system comprising all auxiliary systems

*Ilustración 21 Características electrolizador SUNFIRE.*

La marca también oferta electrolizadores tipo SOEC para una escala algo más pequeña que la del alcalino. Ofrece una producción de hasta 750 Nm<sup>3</sup>/h con una capacidad de producción operando desde el 5 al 100% de la potencia nominal, la cual la fijan en 2680 kW. Ofrece una pureza de hidrógeno del 99,99 % y un rendimiento del 84 %, 20 % mayor que el electrolizador alcalino. Plantean su uso en la industria del acero, refinerías y procesos químicos.

### 3.3.3 TIANJIN MAINLAND HYDROGEN EQUIPMENT CO., LTD.

Esta marca es un fabricante chino que ofrece electrolizadores alcalinos. El electrolizador viene equipado con los equipos auxiliares como el sistema de separación de gases y líquidos, rectificador, controlador PLC y tanque de alimentación de agua.

Ofrecen electrolizadores con producción desde 2 Nm<sup>3</sup>/h hasta 1000 Nm<sup>3</sup>/h. Lo hacen a través de siete modelos con la siguiente escala de producción.

<i>Modelo</i>	<i>Producción</i>
<i>FDQ5</i>	2~8 Nm <sup>3</sup> /h
<i>FDQ10</i>	8~20 Nm <sup>3</sup> /h
<i>FDQ20</i>	20~40 Nm <sup>3</sup> /h
<i>FDQ60</i>	40~60 Nm <sup>3</sup> /h
<i>FDQ100</i>	60~150 Nm <sup>3</sup> /h
<i>FDQ400</i>	150~400 Nm <sup>3</sup> /h
<i>FDQ800</i>	400~1000 Nm <sup>3</sup> /h

*Tabla 1 Modelos electrolizadores Tianjin Mainland Hydrogen Equipment.*

Afirman obtener una pureza de hidrógeno superior al 99%. Usan electrolito sólido con una composición de 30 % de KOH.

### 3.3.4 GREEN HYDROGEN SYSTEMS

Es una empresa danesa que divide sus tipos de electrolizadores en dos: proyectos de potencia menor a 6 MW y proyectos entre 6 y 100 MW. Son electrolizadores alcalinos y afirman que sus productos pertenecen a la gama de mayor eficiencia del mercado.

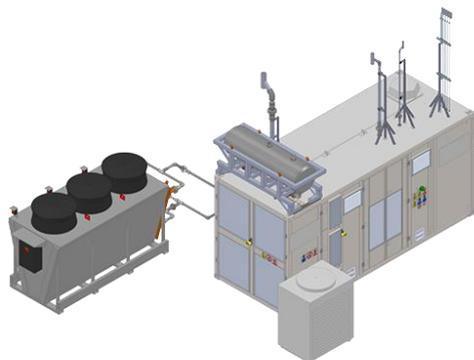
•**HyProvide A-Series:** Esta serie incluye los electrolizadores para proyectos de hasta 6 MW. Ofrecen tanto configuración estándar como modular, por lo que son versátiles y escalables. Afirman que debido a su versatilidad pueden abarcar diferentes mercados de producción de hidrógeno. También destacan su fiabilidad. La presión de salida del hidrógeno es de unos 28 bar con una pureza superior al 99,9 %.

•**HyProvide X-Series:** Esta serie está dedicada a los electrolizadores con potencias comprendidas entre los 6 y los 100 MW. Buscan la optimización para usos en mercados de gran escala como lo son la industria, la energía y sector del transporte pesado.

### 3.3.5 ITM Power

Esta empresa británica se dedica a la fabricación de electrolizadores PEM. Ofrecen productos desde 600 kW de potencia hasta los 100 MW. Para ello, disponen de 4 modelos. Aseguran soporte 24 h al día los 7 días de la semana. Modelos:

•**HGAS1SP:** Es el más pequeño de sus productos. Incluye el electrolizador, el equipamiento para el proceso como el limpiador de agua, purificación de hidrógeno y control PLC. Es capaz de producir hasta 11 kg hidrógeno/hora. La potencia máxima de entrada es de 707 kW. Consume unos 25 litros de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido. La presión de salida es de 20 bar.



*Ilustración 22 Electrolizador ITM Power HGAS1SP.*

•**HGAS3SP:** Este modelo es muy similar al anterior, pero admitiendo mayor potencia. Por lo tanto, tiene mayor producción de potencia. Incluye el electrolizador, el equipamiento para el proceso como el limpiador de agua, purificación de hidrógeno y control PLC. Es capaz de producir hasta 36 kg hidrógeno/hora. La potencia máxima de entrada es de 2 MW. Consume unos 25 litros de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido. La presión de salida es de 30 bar.

•**3MEP CUBE:** Consiste en un electrolizador modular. El acople de módulos permite alcanzar potencias entre 10 y 50 MW. Para ello, utilizan como base los electrolizadores HGAS3SP.



*Ilustración 23 Electrolizador ITM Power 3MEP CUBE.*

·**2 GEP Skid:** Consiste en el acoplamiento de módulos con 5 MW de potencia. Tienen gran flexibilidad y permiten un rango de potencia desde los 80 MW. El concepto de diseño de este producto es similar al de los modelos anteriormente presentados. El módulo base de 5 MW ofrece una producción máxima de hidrógeno de 90 kg/h con una presión de salida de unos 30 bar.

### **3.3.6 NEL**

Esta empresa noruega ofrece electrolizadores alcalinos y PEM. Su catálogo es realmente amplio. Están escalados para que su gama de productos dé soluciones a todas las necesidades actuales de producción de hidrógeno.

Productos con tecnología alcalina:

#### ·**A SERIES:**

En esta serie se encuentran sus electrolizadores alcalinos. Tienen un gran rendimiento. Presentan 5 modelos. El modelo A150, el más pequeño de ellos, tiene una producción de entre 108 y 324 kg/día (50 a 150 Nm<sup>3</sup>/h). Consume una potencia entre 190 y 600 kW (3,8 - 4,4 kWh/Nm<sup>3</sup> de hidrógeno).

El más grande de esta serie es el A3880. Puede producir entre 5180 y 8374 kg/día (2400 a 3800 Nm<sup>3</sup>/h). Consume una potencia de 9,1 a 17 MW (3,8 - 4,4 kWh/Nm<sup>3</sup> de hidrógeno).

El rango de producción respecto a la potencia nominal es entre el 15 y el 100 %.

Como característica a destacar, ofrecen una presión de salida desde 1 hasta 200 bar. La disolución electrolítica tiene un 25 % de KOH.

Specifications	A150	A300	A485	A1000	A3880
Net Production Rate					
Nm <sup>3</sup> /h @ 0°C, 1 bar	50-150 Nm <sup>3</sup> /h	150-300 Nm <sup>3</sup> /h	300-485 Nm <sup>3</sup> /h	600-970 Nm <sup>3</sup> /h	2400-3880 Nm <sup>3</sup> /h
kg/24 h	108-324 kg/24 h	324-647 kg/24 h	647-1,046 kg/24 h	1,295-2,094 kg/24 h	5,180-8,374 kg/24 h
Production Capacity Dynamic Range	15-100% of flow range	15-100% of flow range	15-100% of flow range	15-100% of flow range	15-100% of flow range
Power Consumption at Stack	3.8-4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>				
H <sub>2</sub> Purity	99.9 ffl 0.1 %				
H <sub>2</sub> Purity (with Optional Purification)	99.99-99.999 %	99.99-99.999 %	99.99-99.999 %	99.99-99.999 %	99.99-99.999 %
O <sub>2</sub> -Content in H <sub>2</sub>	< 2 ppm v				
H <sub>2</sub> O-Content in H <sub>2</sub>	< 2 ppm v				
O <sub>2</sub> Purity	99.5 ffl 0.2 %				
Delivery Pressure	1-200 barg				
Dimensions	-150m <sup>2</sup>	-200m <sup>2</sup>	-225m <sup>2</sup>	-350m <sup>2</sup>	-770m <sup>2</sup>
Ambient Temperature	5-35° C (41-95° F)				
Electrolyte	25% KOH Aqueous Solution				

*Ilustración 24 Características técnicas electrolizadores alcalinos NEL*

• **Productos con tecnología PEM:**

Disponen de 4 series: C, H, S y M. Los de la C, H y S pertenecen a la gama de compactos, mientras que los de la M son para producción a gran escala.

La gama compacta ofrece presiones de salida de hasta 30 bar con una pureza de hidrógeno superior al 99,999 %. Afirman que solo requieren un mantenimiento de 4 h al año.

• **Gama compactos: Producción a pequeña escala.**

S Series: Producciones de 0,27 a 1,05 Nm<sup>3</sup>/h. El rango de producción respecto a la potencia nominal ofrece total flexibilidad ya que va del 0 al 100 %. Su dimensión es realmente pequeña (0,8 x 1 x 1,1 m<sup>3</sup>).

H Series: Producciones de 2 a 6 Nm<sup>3</sup>/h. El rango de producción respecto a la potencia nominal ofrece total flexibilidad ya que va del 0 al 100 %. Su dimensión es realmente pequeña (1,8 x 0,8 x 1,9 m<sup>3</sup>).

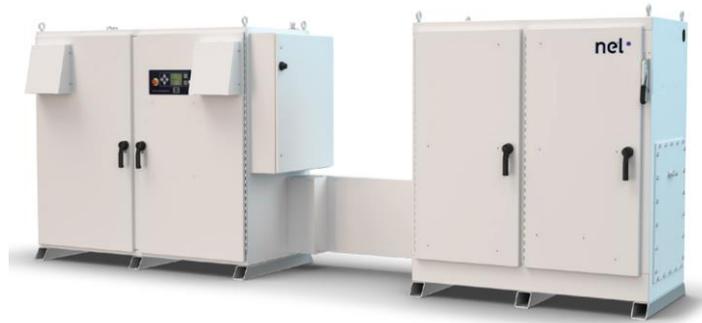
C Series: Producciones de 10 a 30 Nm<sup>3</sup>/h. El rango de producción respecto a la potencia nominal ofrece total flexibilidad ya que va del 0 al 100 %. Su dimensión es realmente pequeña (2,5 x 1,2 x 2 m<sup>3</sup>). Afirman que son ideales para gran variedad de procesos industriales.

*S Series*



*H Series*





### ·Gama media y gran escala

A esta gama pertenecen los M Series. Afirman que requieren un mantenimiento mínimo y que los requerimientos de espacios son pequeños. Utilizan la tecnología de escalable de forma modular. Sus productos de esta gama dan solución a una gran variedad de aplicaciones industriales.

Diferencian entre dos escalas, los MC y los M.

**MC:** Representan la media escala. Son los modelos MC250 y MC500. El primero de ellos ofrece una producción de 246 Nm<sup>3</sup>/h consumiendo una potencia de 1,1 MW. El segundo produce unos 492 Nm<sup>3</sup>/h con un consumo de potencia de 2,2 MW. El rango de producción respecto a la potencia nominal va del 10 al 100 %, por lo que mejora respecto a lo habitual en los PEM (suele ser del 20 al 100 %). La presión de salida es de unos 30 bar.

**M:** En esta categorización se encuentran los electrolizadores a gran escala. Tiene 4 modelos. La producción va desde los 1968 Nm<sup>3</sup>/h hasta los 4920 Nm<sup>3</sup>/h. Las potencias consumidas van desde los 8,9 hasta los 22 MW. Al igual que los modelos MC, el rango de producción respecto a la potencia nominal va desde el 10 hasta el 100 %. La presión de salida es de unos 30 bar.

### 3.3.7 PLUG POWER

Es un fabricante estadounidense de electrolizadores tipo PEM. Ofertan 3 modelos. Son modulares y escalables. Los productos de esta empresa abarcan la producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno para electricidad libre de carbono.

·**Modelo Plug EX-425D:** Admite una potencia de hasta 1 MW. Alcanza un volumen de producción de hasta 425 kg / hidrógeno al día (200 Nm<sup>3</sup>/h) con una pureza superior al 99,999 %. La presión del gas de salida es de 40 bares. Consume unos 12 litros de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido. Destacan su escalabilidad y que es compacto.



Ilustración 25 Electrolizador Plug EX - 425D.

·**Modelo Plug EX – 2125D:** Admite una potencia de hasta 5 MW. Alcanza un volumen de producción de hasta 2125 kg / hidrógeno al día (1000 Nm<sup>3</sup>/h) con una pureza superior al 99,999 %. La presión del gas de salida es de 40 bares. Consume unos 13 litros de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido. Destacan su flexibilidad y que es compacto.

·**Modelo Plug EX – 4250D:** Admite una potencia de hasta 10 MW. Alcanza un volumen de producción de hasta 4250 kg / hidrógeno al día (2000 Nm<sup>3</sup>/h) con una pureza superior al 99,999 %. La presión del gas de salida es de 40 bares. Consume unos 13 litros de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido. Destacan su flexibilidad y escalabilidad.

### 3.3.8 H-TEC

Es una marca alemana que fabrica electrolizadores tipo PEM. Afirman tener un gran rendimiento a largo plazo y monitorización 24/7 desde su centro de control. Destacan su gran relación precio – rendimiento dado a sus buenos contratos de mantenimiento. Ofrecen dos tipos electrolizadores en función de la escala de producción.

·**Electrolizador ME450:** Dedicado a la producción pequeña. Admite una potencia de hasta 1 MW. Consume unos 4,8 kWh/Nm<sup>3</sup>, ofreciendo una producción diaria de unos 450 kg de hidrógeno (210 Nm<sup>3</sup>/h). El rango de producción respecto a la potencia nominal va desde el 20 al 100 %. La eficiencia del sistema a potencia nominal es del 74 %. La presión de salida del gas va desde los 15 a los 30 bares.

·**Electrolizador HCS:** Esta gama es modular y escalable. Disponen de 3 modelos en función de la potencia suministrada.

·**2 MW HCS:** Admite una potencia de hasta 2 MW. Consume unos 4,8 kWh/Nm<sup>3</sup>, ofreciendo una producción diaria de unos 900 kg de hidrógeno (420 Nm<sup>3</sup>/h). El rango de producción respecto a la potencia nominal va desde el 20 al 100 %. La eficiencia del sistema a potencia nominal es del 74 %. La presión de salida del gas va desde los 15 a los 30 bares. Tiene un consumo de 16 kg de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido. El hidrógeno una vez terminado el proceso tiene una pureza del 99,999 %.

·**4 MW HCS:** Admite una potencia de hasta 4 MW. Consume unos 4,8 kWh/Nm<sup>3</sup>, ofreciendo una producción diaria de unos 1800 kg de hidrógeno (840 Nm<sup>3</sup>/h). El rango de producción respecto a la potencia nominal va desde el 20 al 100 %. La eficiencia del sistema a potencia nominal es del 74 %. La presión de salida del gas va desde los 15 a los 30 bares. Tiene un consumo de 16 kg de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido. El hidrógeno una vez terminado el proceso tiene una pureza del 99,999 %.

·**10 MW HCS:** Admite una potencia de hasta 10 MW. Consume unos 4,8 kWh/Nm<sup>3</sup>, ofreciendo una producción diaria de unos 4500 kg de hidrógeno (2100 Nm<sup>3</sup>/h). El rango de producción respecto a la potencia nominal va desde el 20 al 100 %. La eficiencia del sistema a potencia nominal es del 74 %. La presión de salida del gas va desde los 15 a los 30 bares. Tiene un consumo de 16 kg de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido. El hidrógeno una vez terminado el proceso tiene una pureza del 99,999 %.



*Ilustración 26 Electrolizador H-TEC 10 MW HCS.*

### 3.3.9 H2B2

Es una empresa española que se dedica a la fabricación de electrolizadores para todas las escalas. Dividen sus productos en pequeña, mediana y gran escala.

**Pequeña escala:** Son electrolizadores tipo PEM. Ofrecen tres productos (EL0.5N, EL1N, EL2N) con producción desde 0,5 hasta 2,0 Nm<sup>3</sup>/h (1,08 – 4,31 kg/día). Afirman que son óptimos para pequeños consumidores: laboratorios, residencias, ... Son sistemas simples integrados en una cabina. Están certificados bajo los estándares y códigos europeos y americanos. El rango de producción respecto a la potencia nominal va desde el 10 al 100 %. La potencia de salida que ofrecen oscila entre 1 y 20 bares con una pureza de hidrógeno del 99,999 %.

**Media escala:** Son electrolizadores tipo PEM. En esta gama tienen cuatro modelos: EL10N, EL20N, EL30N y EL60N. La producción del menor de ellos es de 10,05 Nm<sup>3</sup>/h (21,68 kg/día) y la del mayor es de 63,3 Nm<sup>3</sup>/h (136,58 kg/día). Son sistemas integrados en un contenedor. Están certificados bajo los estándares y códigos europeos y americanos. El rango de producción respecto a la potencia nominal va desde el 10 al 100 %. La potencia de salida que ofrecen oscila entre 14 y 40 bares con una pureza de hidrógeno del 99,999 %.

**Gran escala:** Son electrolizadores tipo PEM. En esta gama tienen cinco modelos: EL100N, EL200N, EL400N, EL600N y EL800N. La producción del menor de ellos es de 100 Nm<sup>3</sup>/h (215 kg/día) y la del mayor es de 800 Nm<sup>3</sup>/h (1726 kg/día). Son sistemas integrados en un contenedor. Están certificados bajo los estándares y códigos europeos y americanos. El rango de producción respecto a la potencia nominal va desde el 10 al 100 %. La potencia de salida que ofrecen oscila entre 14 y 40 bares con una pureza de hidrógeno del 99,999 %.

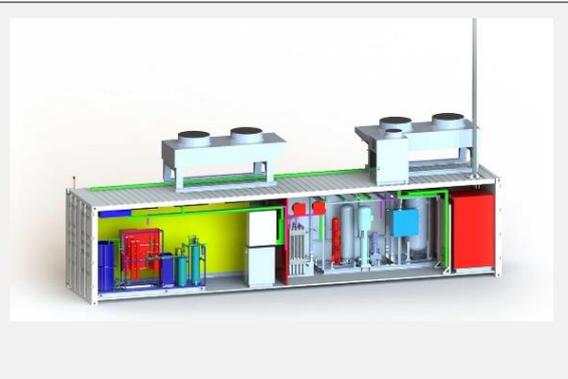
*Pequeña escala*



*Media escala*



*Gran escala*



## 4 PUNTO DE PARTIDA

En este Trabajo Fin de Máster se plantea la mejora de una planta fotovoltaica diseñada para el pueblo de La Rinconada (Sevilla). En este primer proyecto, se elaboró la ingeniería para la construcción de una fuente renovable que fuera capaz de generar la energía demandada por el consumo residencial del pueblo cada año. Por tanto, el objetivo que se cubrió fue en términos de energía consumida y no en términos de potencia.

Dicho de otro modo, la planta diseñada no es capaz de suministrar en cada instante la potencia demandada por la red. Por ejemplo, durante la noche hay demanda de potencia y la producción es nula. En cambio, en las horas punta de producción la fotovoltaica genera mucha más energía de la realmente solicitada.

Por lo tanto, hay algunas horas a lo largo del día en los que la planta produce más de lo que se demanda. Se pueden abordar diversas soluciones para aprovechar este excedente de producción. En este proyecto se ha realizado el estudio de una planta de producción y almacenamiento de hidrógeno para emplear este excedente. Posteriormente, se mostrará un análisis económico para ver cómo de rentable es este proceso respecto a verter directamente la energía a red para que fuera aprovechada por otros lugares fuera del ámbito para el que se diseñó la planta (término municipal de La Rinconada).

### 4.1 Elementos de partida

A continuación, se exponen los datos de la planta fotovoltaica sobre la que se va a realizar la mejora para aprovechar el excedente de producción en horas punta y generar hidrógeno.

En primer lugar, se presenta la información general del proyecto. Esta planta tiene unas dimensiones de 81 ha con una potencia de 39,2 MWp de potencia en corriente continua.

#### *Información general*

<i>Proyecto</i>		Planta FV La Rinconada
<i>Localización</i>		La Rinconada, Sevilla (Andalucía, España)
<i>Potencia total (Entrada inductor CC / Salida inductor CA) [MW]</i>	Condiciones STC/factor de potencia=1	39,168 MWp (CC) 33,672 MWca (CA)
<i>DC/CA ratio (Wp/Wca) [%]</i>	Condiciones STC/factor de potencia=1	116,32%
<i>Coordenadas</i>		Latitud: 37.460775 Longitud: -5.891104
<i>Área de la instalación [ha]</i>		81

*Tabla 2: Información general parque fotovoltaico.*

Se ubica en una parcela dentro del término municipal de La Rinconada, la cual se presenta a continuación.



*Ilustración 27 Emplazamiento parque fotovoltaico.*

Las principales características del parque son las siguientes:

<b>Potencia</b>				<b>String Box (SB)</b>		
<b>Factor de potencia</b>	<b>Potencia entrada (kWp)</b>	<b>Potencia salida (kWp)</b>	<b>Ratio CC/CA</b>	<b>Ud.</b>	<b>Entradas por SB</b>	<b>Potencia por SB (kWp)</b>
1,00	39 168,00	33 672,00	116,32%	192	20	204,00

<b>Strings</b>		<b>Módulos</b>				<b>Trackers</b>
<b>Ud.</b>	<b>Ud.</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia (Wp)</b>	<b>Módulos por string</b>	<b>Módulos por tracker</b>	<b>Ud.</b>
3 840	115200	RCM-340-6MA	340	30	60	1 920

*Tabla 3 Características del parque fotovoltaico.*

## 4.2 Equipos principales en un parque fotovoltaico

A continuación, se dan unas breves definiciones para entender todos los términos:

### 4.2.1 Módulo fotovoltaico:

El módulo fotovoltaico lo componen células dispuestas geoméricamente. Estas se conectan en serie o paralelo hasta alcanzar los valores de tensión a circuito abierto y corriente de cortocircuito deseados. Al funcionar con corriente continua, es necesario la conexión mediante dos cables: uno para el polo negativo y otro para el positivo.

El módulo está caracterizado por sus curvas de rendimiento, las cuales, en función de la intensidad y la tensión de los mismos, se identifica el punto de máxima potencia, según condiciones estándares de funcionamiento (STC). Estas condiciones se definen con una irradiancia de 1,000 W/m<sup>2</sup> y una temperatura ambiente de 25 °C.



*Ilustración 28 Módulo fotovoltaico marca Recom.*

#### **4.2.2 String:**

Se le asigna este nombre a la conexión en serie de un número determinado de módulos. Para unir los distintos módulos de la string se utilizan cables buscando que se produzca la menor caída de tensión posible. Estos cables son de clase 2 (doble aislamiento).

El número de módulos conectados en serie viene determinado por el rango de tensiones de funcionamiento del inversor cuando opera a potencia máxima. Se conectan módulos en serie hasta alcanzar un valor de tensión dentro del intervalo que especifique el inversor.

Para determinar el número de módulos en cada string hay que tener en cuenta las tensiones de los módulos en su punto de máxima potencia ( $V_{pmm}$ ), aplicando las correspondientes correcciones por temperatura.

#### **4.2.3 String box (caja de conexiones)**

Las string boxes son cuadros eléctricos a los cuales se conectan en paralelo una cantidad determinada de strings para formar un solo circuito de salida. Este circuito se dirige hacia el inversor, que estará ubicado en el centro de transformación.

En la string box se incorporan las protecciones necesarias para el sistema, tales como fusibles, protección contra sobretensiones y elementos de maniobra. Este cuadro debe ser IP 65, debido a que está a la intemperie.



*Ilustración 29 Caja de conexiones marca Ingeteam.*

#### **4.2.4 Tracker (seguidor)**

Los paneles fotovoltaicos se colocan sobre estructuras que constituyen el soporte de los mismos. Dichas estructuras se cimientan sobre apoyos generalmente hincados en el terreno.

Existen diversos tipos de seguidores, diferenciando principalmente entre fijos y móviles.



*Ilustración 30 Seguidor marca Axial*

#### **4.2.5 Inversor:**

El inversor es un dispositivo eléctrico que convierte corriente continua en corriente alterna a una determinada frecuencia mediante un puente IGBT, el cual produce pulsos secuenciales en la corriente continua que dan lugar a una onda de tipo senoidal, siendo esta la corriente alterna.



*Ilustración 31 Inversor marca Ingeteam*

#### **4.2.6 Centro de transformación:**

Están formados por los inversores (no estarían ubicados en el centro de transformación si se adopta una configuración de planta string – inverter), las protecciones para CC/CA, un transformador y los distintos elementos auxiliares necesarios tales como los cuadros. Dentro del centro de transformación hay distintas celdas donde se ubican los elementos de entrada, salida y las protecciones necesarias.



*Ilustración 32 Centro de transformación marca Ingeteam*

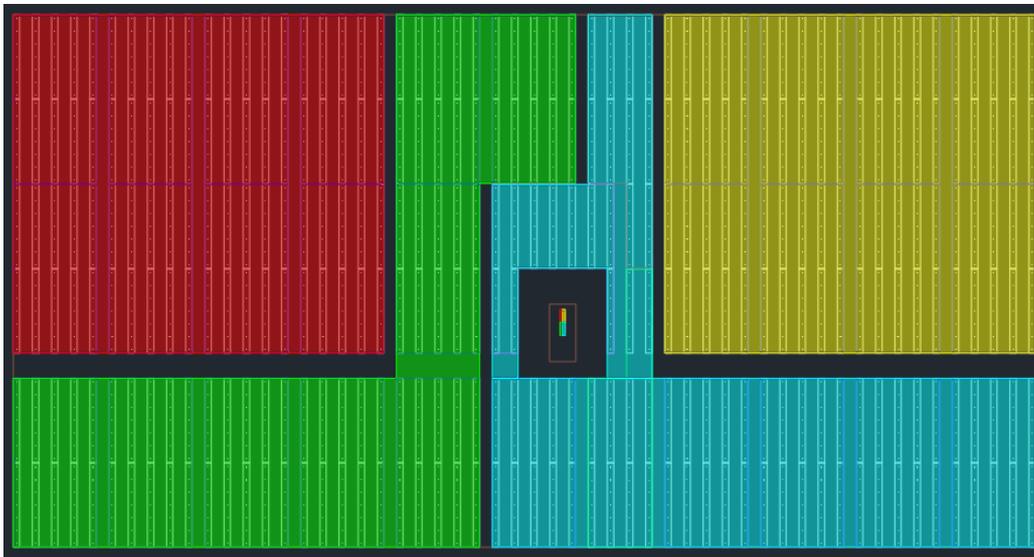
### **4.3 Subdivisiones de la configuración del parque fotovoltaico**

Adentrándonos más en el detalle del parque fotovoltaico, este está dividido en seis islas completamente iguales. Cada una de las islas tiene un centro de transformación asociado, siendo todos completamente independientes entre sí. Se pueden diferenciar en esta imagen:



*Ilustración 33 Ubicación de las 6 islas del parque en el terreno.*

Cada una de las islas esta subdividida en 4 grupos, cada uno conectado a un inversor de igual potencia.



*Ilustración 34: Distribución módulos correspondientes a cada inversor.*

Con estos datos se puede obtener una buena imagen de lo que es la planta fotovoltaica en cuanto a diseño.

#### 4.4 Producción de la planta

Una vez planteado el diseño de la planta para tener una idea genérica del conjunto que tomamos como base, vamos a centrarnos en la producción de esta. Para el diseño se tomó como base la demanda eléctrica residencial de 2017 de La Rinconada. Según datos del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía esta

fue de 56 274 MWh.

Para el diseño no se tuvo en cuenta la producción diaria, solo la genérica. Para este estudio, el primer paso fue obtener la simulación de la producción diaria de la planta tomando los datos meteorológicos de 2021.

Este estudio se ha realizado usando el software de simulación PVSyst. Esta aplicación es muy usada en el campo de diseño de plantas fotovoltaicas, dando unos resultados muy detallados sobre las características de la planta.

Para el contexto de este Trabajo Fin de Máster, nos centramos solo en el apartado que nos permite sacar la producción diaria.

PVSyst permite obtener la simulación de la potencia generada por la planta cada hora de cada día. Para ilustrarlo gráficamente, se presenta a continuación la producción simulada para el 2 de enero de 2021.

<b>DÍA</b>	<b>HORA</b>	<b>POTENCIA PRODUCIDA (KW)</b>
02/01/2021	0:00	0
02/01/2021	1:00	0
02/01/2021	2:00	0
02/01/2021	3:00	0
02/01/2021	4:00	0
02/01/2021	5:00	0
02/01/2021	6:00	0
02/01/2021	7:00	0
02/01/2021	8:00	0
02/01/2021	9:00	5626
02/01/2021	10:00	13 459
02/01/2021	11:00	17 789
02/01/2021	12:00	21 205
02/01/2021	13:00	22 277
02/01/2021	14:00	20 371
02/01/2021	15:00	18 430
02/01/2021	16:00	13 141
02/01/2021	17:00	6057
02/01/2021	18:00	0
02/01/2021	19:00	0
02/01/2021	20:00	0
02/01/2021	21:00	0
02/01/2021	22:00	0
02/01/2021	23:00	0

*Tabla 4 Producción parque fotovoltaico 2 de enero de 2021.*

Si se muestra gráficamente, se obtiene lo siguiente:

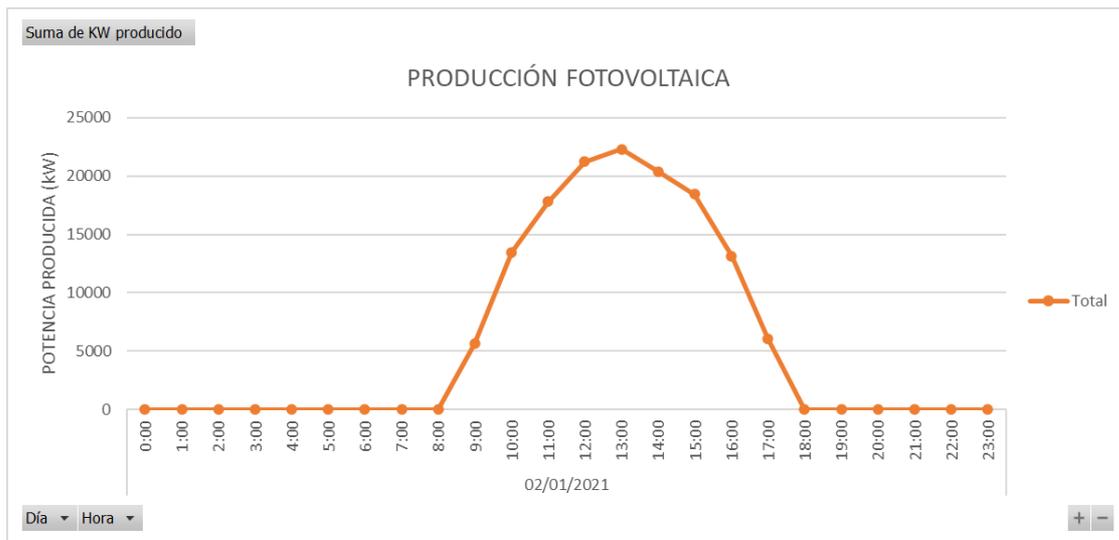


Ilustración 35 Producción parque fotovoltaico 2 de enero de 2021.

En el anexo G se muestra gráficamente la curva de producción para un día de cada uno de los doce meses del año.

Para tener una mejor muestra de lo que es la producción en términos globales, se muestra la producción fotovoltaica a lo largo de todo el mes de enero:

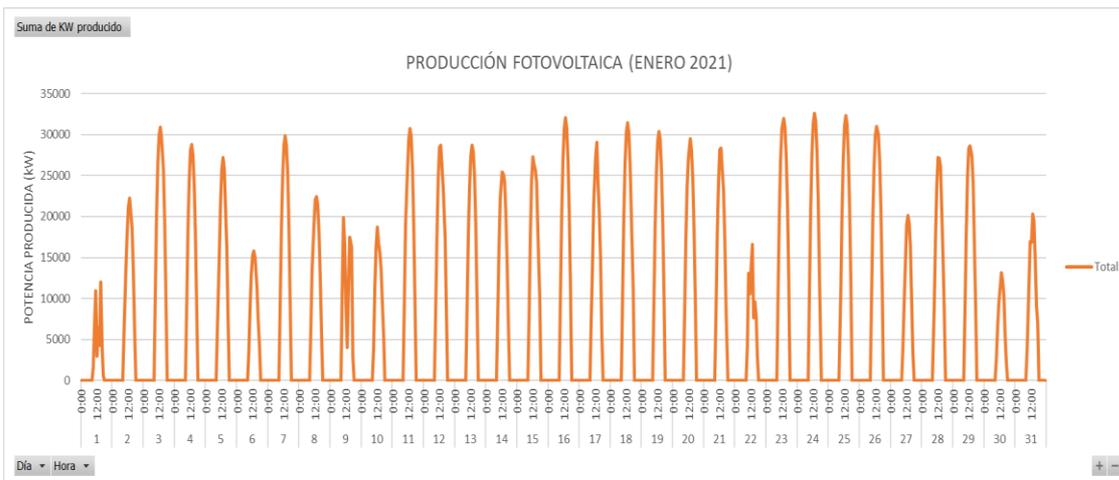


Ilustración 36 Producción parque fotovoltaico enero 2021.

A continuación, se muestra finalmente una tabla en la que se detalla la generación mensual de energía durante el año 2021.

ENERGÍA PRODUCIDA POR LA PLANTA FOTOVOLTAICA (kWh)												
DÍA/MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	50 294	162 033	129 650	150 599	245 937	225 589	234 269	243 697	234 317	234 348	161 938	205 185
2	138 355	198 491	169 052	103 115	233 032	226 471	237 984	230 928	163 872	185 559	215 695	195 946
3	202 222	78 091	189 750	112 298	249 901	140 898	197 785	232 593	236 251	217 082	114 821	187 400
4	185 905	55 805	190 254	251 067	258 097	251 065	212 430	233 309	223 112	225 099	204 682	170 994
5	166 509	100 785	226 373	167 219	247 524	249 199	235 204	237 332	226 457	210 077	212 208	151 410
6	94 232	113 312	182 020	102 772	248 540	245 592	259 256	231 412	230 428	179 049	77 299	151 908
7	193 291	166 986	61 591	251 126	191 674	243 002	249 648	216 637	242 614	188 475	135 467	176 042
8	141 319	134 948	129 020	253 736	217 976	257 630	249 463	213 413	200 249	191 146	103 014	187 063
9	108 888	206 668	115 966	238 996	225 520	193 015	236 346	234 538	228 827	179 660	180 776	180 009
10	111 029	191 984	183 508	127 305	257 085	219 533	248 049	202 960	234 833	231 657	177 750	168 360
11	198 485	196 949	208 662	243 735	187 755	234 374	246 898	229 568	223 460	204 591	193 524	27 031
12	183 804	202 351	242 219	257 022	260 022	219 419	230 031	215 563	224 753	91 838	150 827	150 641
13	186 816	148 431	253 880	237 099	224 945	244 816	238 346	226 307	151 561	103 660	112 179	164 714
14	162 808	176 304	236 833	260 689	236 596	242 866	241 810	206 150	175 719	144 362	69 114	178 893
15	181 692	222 979	224 461	173 636	241 204	232 091	246 282	217 209	216 372	210 290	183 845	87 037
16	209 893	208 817	221 063	220 433	180 867	191 018	244 323	223 669	231 887	208 229	211 384	98 406
17	163 196	205 083	235 317	206 750	216 444	236 455	240 638	229 209	216 975	122 055	186 859	86 150
18	206 120	220 210	212 542	259 519	235 564	205 761	231 046	223 291	196 060	84 771	195 241	52 433
19	199 553	137 286	231 039	250 530	251 335	227 420	219 674	226 784	156 402	215 559	175 657	186 912
20	187 135	108 729	242 793	183 989	234 564	221 257	229 992	229 855	205 725	196 557	183 052	163 250
21	181 652	136 505	157 558	147 999	229 482	230 233	229 750	230 299	187 690	193 578	162 704	56 454
22	86 548	206 367	251 629	169 681	234 113	226 952	215 651	181 454	244 893	216 693	143 034	116 645
23	212 138	144 120	256 762	249 999	243 534	224 650	234 799	212 514	229 427	208 182	166 083	168 003
24	217 664	186 930	238 424	257 368	255 377	234 863	228 824	185 101	220 881	214 563	204 788	57 141
25	214 564	166 145	248 705	259 161	149 061	211 721	242 843	181 573	124 258	111 108	192 135	69 060
26	205 615	153 142	179 288	235 179	235 989	203 848	179 004	226 642	179 991	203 565	189 632	185 027
27	114 826	30 960	242 202	86 795	250 761	227 574	224 168	217 180	91 706	135 858	48 843	193 432
28	174 172	205 503	243 174	125 437	222 607	244 727	232 613	238 732	170 411	123 782	203 472	164 336
29	185 287		207 606	205 394	242 068	236 602	234 809	215 814	137 653	212 006	188 749	157 452
30	73 289		147 301	176 280	157 337	226 902	232 864	217 396	243 654	172 590	132 968	157 671
31	119 814		191 541		185 426		237 461	222 687		196 778		83 780
Total	5 057 115	4 465 914	6 250 183	5 964 925	7 050 333	6 775 539	7 222 258	6 833 813	6 050 434	5 612 767	4 877 740	4 378 786

Tabla 5 Producción parque fotovoltaico año 2021

Esta energía primeramente se destina a cubrir la demanda energética de La Rinconada. Para este proyecto, se tomarán los datos de producción de 2021 y se utilizarán a fecha de 2023.

#### 4.5 Demanda de la red (La Rinconada)

Para obtener los datos de demanda energética horaria se ha realizado una estimación tomando como base el consumo anual de La Rinconada de los años anteriores y de las curvas de la demanda de energía en España que se pueden extraer en Red Eléctrica Española. Se ha diseñado una curva para cada uno de los doce meses del año. Cada uno de los días del mes se ha supuesto que tiene la misma demanda de consumo.

POTENCIA DEMANDADA (kW)												
HORA/MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0:00	6 134	6 183	5 851	5 894	6 197	6 611	7 499	6 692	5 704	5 954	6 000	6 778
1:00	5 708	5 814	5 502	5 528	6 043	6 478	7 160	6 447	5 450	5 786	5 662	6 476
2:00	5 346	5 504	5 187	5 342	5 669	6 163	6 762	6 101	5 175	5 509	5 417	6 053
3:00	5 212	5 391	5 105	5 175	5 623	5 922	6 493	5 906	5 097	5 360	5 243	5 910
4:00	5 117	5 299	5 057	5 084	5 532	5 788	6 320	5 801	5 056	5 343	5 161	5 786
5:00	5 269	5 313	5 133	5 176	5 549	5 891	6 344	5 792	5 098	5 402	5 334	5 901
6:00	5 663	5 835	5 502	5 453	5 771	6 036	6 508	5 947	5 411	5 526	5 691	6 224
7:00	6 681	6 870	6 398	6 144	6 272	6 551	6 972	6 462	6 220	6 323	6 629	7 130
8:00	7 685	7 818	7 201	6 727	6 832	7 126	7 400	6 720	6 911	6 995	7 465	8 117
9:00	7 937	8 071	7 693	7 219	7 232	7 523	7 952	7 114	7 053	7 194	7 810	8 333
10:00	8 255	8 234	8 010	7 483	7 420	7 698	8 308	7 446	7 275	7 129	8 054	8 502
11:00	8 352	8 145	8 204	7 565	7 553	7 844	8 593	7 744	7 371	7 033	8 075	8 561
12:00	8 317	8 031	8 191	7 654	7 725	7 909	8 747	7 903	7 471	7 078	8 124	8 409
13:00	8 395	7 996	8 229	7 678	7 872	8 007	8 976	8 113	7 555	7 210	8 201	8 464
14:00	8 263	7 744	8 133	7 627	7 733	7 938	9 071	8 221	7 583	7 078	8 149	8 288
15:00	8 131	7 613	7 937	7 359	7 683	7 833	9 037	8 123	7 501	6 932	8 080	8 243
16:00	7 953	7 515	7 757	7 162	7 607	7 716	8 991	8 080	7 393	6 935	8 087	8 139
17:00	7 819	7 453	7 671	7 091	7 616	7 741	8 907	8 017	7 339	6 812	7 992	8 165
18:00	7 987	7 520	7 534	7 007	7 561	7 599	8 827	8 019	7 388	6 871	8 228	8 450
19:00	8 378	8 024	7 697	6 972	7 475	7 619	8 622	7 919	7 261	6 915	8 346	8 705
20:00	8 600	8 521	8 220	7 260	7 449	7 542	8 480	7 785	7 388	7 511	8 557	8 873
21:00	8 689	8 575	8 283	7 598	7 540	7 505	8 333	7 897	7 746	7 666	8 506	8 770
22:00	8 009	8 005	7 606	7 371	7 506	7 435	8 309	7 746	7 201	7 115	7 806	8 217
23:00	7 248	7 182	6 955	6 734	6 948	7 140	7 870	7 152	6 566	6 552	7 093	7 559
Total	175 148	172 656	169 056	160 303	166 408	171 615	190 481	173 147	160 213	158 229	173 710	184 053

Tabla 6 Demanda energética de La Rinconada año 2023.

Analizando los consumos totales de cada mes, se observa que los meses de mayor demanda son los siguientes:

MES	DEMANDA DIARIA (kWh)
Julio	190 481
Diciembre	184 053
Enero	175 148
Noviembre	173 710
Agosto	173 147
Febrero	172 656
Junio	171 615
Marzo	169 056
Mayo	166 408
Abril	160 303
Septiembre	160 213
Octubre	158 229

Tabla 7 Demanda energética diaria. Ordenada de mayor a menor demanda.

Para una mayor comprensión de la demanda energética diaria, se presenta el perfil diario del primer día del mes de julio:



Ilustración 37 Perfil diario de demanda de potencia 1 de julio de 2023.

Conociendo la demanda horaria de energía por parte de la población de La Rinconada y la producción de la planta fotovoltaica, se puede obtener la energía que en cada tramo horario queda disponible para producir hidrógeno.

Habrán tramos horarios en los que la producción fotovoltaica será mucho mayor que la demanda energética y quedará excedente. En cambio, en otros tramos la producción eléctrica de la planta fotovoltaica no será suficiente para satisfacer la demanda de la red, por lo que no quedará energía disponible para producir hidrógeno.

En el siguiente apartado se muestra la energía que queda disponible para utilizar en la planta de hidrógeno y se realizará la ingeniería básica de la misma.

# 5 INGENIERÍA BÁSICA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO

Una vez planteada la situación inicial sobre la que se va a diseñar este proyecto de mejora, se procede a exponer la ingeniería básica realizada para el diseño de una planta que produzca y almacene hidrógeno a partir del excedente de la energía solar fotovoltaica.

Partimos del dato de energía eléctrica que obtenemos de restar a la producción lo demandado por la red del pueblo de La Rinconada. Para que resulte visual, se expone el caso de un único día (2 de enero de 2023).

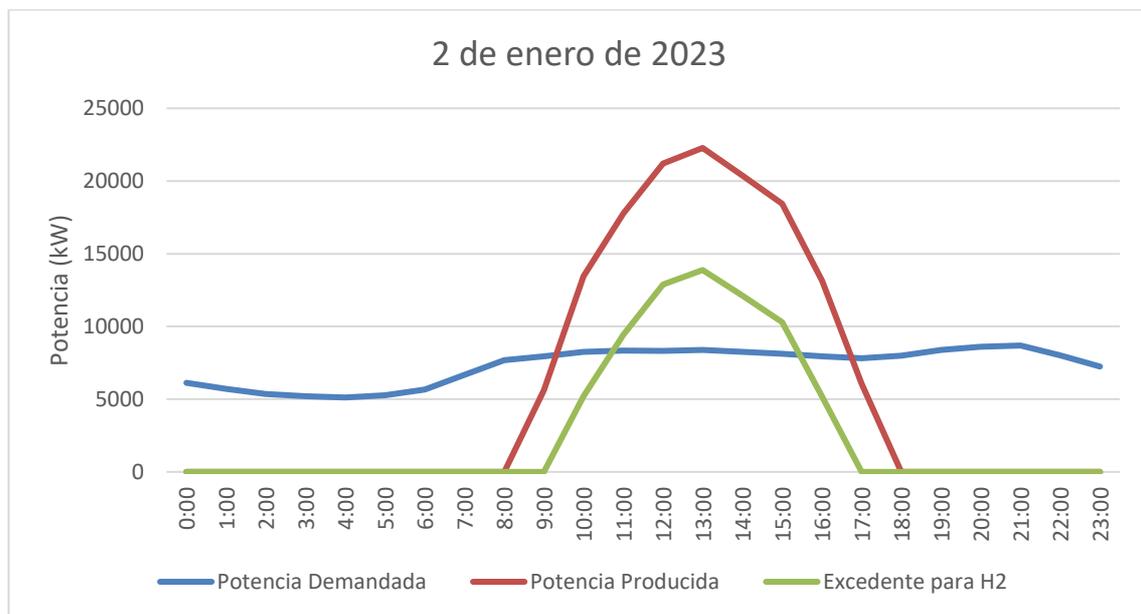


Ilustración 38 Gráficos potencias 2 de enero 2023.

Por lo tanto, la curva “Excedente para H<sub>2</sub>” nos muestra toda la energía disponible durante el día 2 de enero para producir hidrógeno.

Este procedimiento se realiza para cada uno de los 365 días del año. Se obtiene para cada hora la cantidad de potencia disponible para producir hidrógeno. Esta es muy variable a lo largo del año.

En los meses de invierno, debido a la alta demanda de energía y la baja producción de energía mediante fotovoltaica, el remanente disponible para producir hidrógeno es bajo. En cambio, en los meses de verano, es bastante mayor debido a la mayor producción de la planta.

En la siguiente tabla se muestra un cómputo a nivel mensual de la energía producida, la demandada por la red y el excedente:

MES	Energía Demandada (kWh)	Energía Producida (kWh)	Energía Excedente (kWh)
Enero	5 429 588	5 057 115	2 885 890
Febrero	4 834 368	4 465 914	2 574 029
Marzo	5 240 736	6 250 183	3 804 016
Abril	4 809 090	5 964 925	3 673 078
Mayo	5 158 648	7 050 333	4 422 158
Junio	5 148 450	6 775 539	4 151 482
Julio	5 904 911	7 222 258	4 225 654
Agosto	5 367 557	6 833 813	4 173 917
Septiembre	4 806 390	6 050 434	3 794 831
Octubre	4 905 099	5 612 767	3 518 494
Noviembre	5 211 300	4 877 740	2 812 256
Diciembre	5 705 643	4 378 786	2 337 128
<b>TOTAL</b>	<b>62 521 780</b>	<b>70 539 806</b>	<b>42 372 932</b>

Tabla 8 Acumulado energía mensual.

La siguiente tabla muestra con más detalle la energía de la que se dispone para producir hidrógeno, ya que expone el cómputo total diario:

ENERGÍA DISPONIBLE PARA PRODUCIR HIDRÓGENO (kWh)												
DÍA/MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	6 429	94 614	56 891	76 364	162 623	137 433	137 237	156 110	153 922	161 021	88 909	130 561
2	69 006	127 689	91 406	36 889	148 295	138 426	141 106	143 042	88 614	113 755	137 333	122 144
3	128 800	21 800	111 071	42 305	165 375	68 311	101 711	144 518	156 233	144 299	44 563	114 255
4	112 483	4 973	111 819	170 935	174 386	163 382	114 176	145 515	144 358	154 703	127 438	99 064
5	94 979	41 180	146 023	90 886	162 848	161 392	138 169	149 839	147 724	140 326	134 183	80 547
6	29 360	47 751	105 379	34 515	164 815	157 616	162 326	143 705	151 574	111 025	29 002	80 039
7	119 869	96 184	12 594	171 291	107 532	154 891	152 724	129 845	163 703	118 920	64 207	103 908
8	71 364	68 754	69 910	173 685	132 752	169 690	152 873	125 721	123 093	121 068	38 062	113 297
9	44 693	135 866	43 650	158 900	140 490	103 966	139 824	146 864	150 364	112 184	110 692	107 553
10	43 909	121 182	107 086	71 938	171 766	131 094	151 457	116 107	156 185	161 261	105 178	94 256
11	125 063	126 147	127 382	163 911	103 310	146 040	149 873	142 511	145 110	134 493	122 060	-
12	110 382	131 549	159 259	184 387	175 954	130 951	132 876	128 782	146 701	28 228	80 945	80 083
13	113 394	82 430	170 230	155 645	140 249	157 164	141 638	139 236	79 160	40 399	53 372	91 622
14	90 203	105 616	154 524	178 901	151 069	155 082	144 829	118 767	99 999	78 566	14 598	105 536
15	108 391	152 177	142 538	107 330	156 212	143 606	149 380	130 613	138 823	139 906	112 893	33 801
16	136 471	138 015	139 182	139 594	95 987	111 560	147 540	137 012	154 063	138 168	138 812	32 580
17	92 601	130 502	152 339	126 855	131 321	148 364	143 784	142 804	139 512	60 007	115 794	22 349
18	132 698	144 912	131 743	177 807	149 884	116 744	134 397	138 127	119 817	23 699	124 076	1 542
19	126 131	63 115	148 564	169 412	167 409	139 151	122 984	141 055	92 258	145 517	104 966	112 880
20	113 713	42 142	159 629	106 364	150 737	132 876	132 934	144 816	128 498	127 890	112 801	91 346
21	108 230	65 254	86 403	68 398	144 269	141 883	133 313	145 271	111 632	124 727	92 636	8 716
22	22 307	131 238	167 491	91 041	148 456	138 775	119 322	102 538	167 313	146 685	72 262	50 675
23	138 716	77 307	171 814	168 815	159 557	136 336	138 580	127 599	152 203	138 874	97 259	95 017
24	144 242	113 099	154 841	174 713	171 029	146 661	132 165	101 565	143 995	144 832	132 604	17 448
25	141 142	92 296	164 213	177 512	64 849	123 448	146 501	99 610	60 035	49 229	120 601	10 368
26	132 193	88 184	95 428	153 440	150 935	114 762	83 682	141 804	104 665	133 985	118 210	110 350
27	49 987	-	158 249	26 724	166 451	138 769	128 068	132 675	36 955	84 963	-	118 447
28	100 750	130 053	159 013	52 355	137 442	156 882	136 086	153 839	97 910	61 255	131 255	91 491
29	111 865		126 134	123 674	156 606	148 136	138 249	132 457	73 588	142 823	117 993	85 087
30	14 987		68 943	98 495	70 483	138 093	136 465	133 185	166 824	106 986	69 554	84 514
31	51 532		110 268		99 070		141 384	138 384		128 700		47 653
<b>Total</b>	<b>2 885 890</b>	<b>2 574 029</b>	<b>3 804 016</b>	<b>3 673 078</b>	<b>4 422 158</b>	<b>4 151 482</b>	<b>4 225 654</b>	<b>4 173 917</b>	<b>3 794 831</b>	<b>3 518 494</b>	<b>2 812 256</b>	<b>2 337 128</b>

Tabla 9 Excedente energía diaria disponible para producir hidrógeno.

Como se puede apreciar, hay días en los que apenas se dispone de energía para la producción de hidrógeno (marcados en rojo). Estos son la gran parte en los meses de invierno. En los meses de primavera y verano, como es lógico, podemos apreciar que una gran cantidad de días con mayor energía para producir hidrógeno (marcados en verde).

El dato de producción horaria de cada día no se muestra en este desarrollo debido al gran volumen de datos.

## **5.1 Puntos de partida para el diseño**

Una vez obtenido el dato de energía disponible para la producción de hidrógeno, se procede a exponer los aspectos más importantes a la hora de diseñar la planta. Cabe resaltar que este estudio se hace con un trasfondo económico, por lo que se primará la rentabilidad del proyecto frente a una mayor producción.

### **1. Dimensionado del electrolizador**

Este aspecto es el más importante, ya que de él depende la cantidad de hidrógeno producido. Se ha tomado un fabricante como referencia y usando su catálogo se ha hecho un estudio de sensibilidad para saber qué cantidad de hidrógeno puede producir cada electrolizador o cada combinación de varios.

### **2. Decisión sobre el electrolizador basada en rentabilidad económica**

Una vez conocido la producción posible de cada caso, se realiza un cálculo económico para saber qué combinación de electrolizadores aporta una mayor rentabilidad en términos económicos. El electrolizador es claramente el equipo más caro de la planta, por lo que el ratio coste de la máquina por cada kilogramo producido decantará la elección.

### **3. Almacenaje**

Conociendo la producción diaria de hidrógeno se diseña el sistema de almacenamiento partiendo de la base de que se va a realizar una retirada diaria. Para ello, se toman en cuenta las condiciones del gas a la salida del electrolizador y se estudia colocar equipos de compresión para reducir el volumen ocupado.

### **4. Decisión sobre almacenaje basada en rentabilidad económica**

Una vez conocidos los distintos casos para almacenar el hidrógeno, se realiza un cálculo económico para conocer qué combinación ofrece la mayor rentabilidad económica.

## 5.2 Dimensionado del electrolizador

### 5.2.1 Elección de marca y casos a estudiar

Para el electrolizador se decidió tomar un electrolizador PEM. La marca elegida para estudiar las combinaciones posibles de electrolizadores fue H-TEC. Este fabricante alemán ofrece electrolizadores de 2, 4 y 10 MW. Dadas las condiciones de la planta fotovoltaica, la cual es de 40 MW, los electrolizadores de H-TEC se consideraron adecuados para realizar el análisis de sensibilidad, ya que ofrecen una buena combinación.

La casuística estudiada para el análisis de sensibilidad es la siguiente:

CASOS	Potencia Electrolizador 1 (MW)	Potencia Electrolizador 2 (MW)	Potencia Electrolizador 3 (MW)	Potencia total (MW)
1	10	0	0	10
2	10	2	0	12
3	10	4	0	14
4	10	4	2	16
5	10	4	4	18
6	10	10	0	20
7	10	10	2	22
8	10	10	4	24

*Tabla 10 Combinaciones de electrolizadores a estudiar.*

Se parte de un electrolizador de 10 MW. No se tiene en cuenta la consideración de dos de 4 MW debido a que el coste de dos de 4 MW es mayor que el de 1 de 10 MW, por lo que la rentabilidad será menor.

Se para la muestra del estudio en 24 MW porque, como se mostrará posteriormente, a este rango de potencia la rentabilidad es muy baja comparada con sus casos anteriores debido a la energía disponible para producir hidrógeno.

En el Anexo C se muestran las características de cada uno de los tres electrolizadores elegidos para realizar este estudio económico.

### 5.2.2 Estudio sensibilidad electrolizadores

Como se ha expuesto en la introducción, los electrolizadores funcionan solo en un rango de potencia. Los que se han seleccionado trabajan en la banda del 20 al 100 % de potencia respecto a la nominal. Por lo tanto, solo se podrá considerar la energía siempre que se encuentren en este rango.

Obviamente, si la energía disponible es mayor que la nominal, el sistema satura y solo será posible trabajar a potencia nominal.

Para los casos en los que se dispone de más de un electrolizador la forma de actuar será la siguiente:

1. Se enciende el “Electrolizador 1” cuando la potencia excedente del sistema sea mayor que el 20 % de la potencia nominal. En este estudio todos los electrolizadores “1” son de 10 MW, por lo que se encenderá siempre que el exceso de potencia sea mayor a 2 MW.

2. Llegado el caso de que la potencia excedente sea mayor a 10 MW, se encenderá el segundo electrolizador en el caso de que la potencia remanente sea mayor a un 20 % de la potencia nominal del “Electrolizador 2”. Por lo tanto, si el “Electrolizador 2” es de:

-2 MW, se encenderá si la potencia remanente tras tener el “Electrolizador 1” trabajando a potencia nominal es mayor de 0,4 MW.

-4 MW, se encenderá si la potencia remanente tras tener el “Electrolizador 1” trabajando a potencia nominal es mayor de 0,8 MW.

-10 MW, se encenderá si la potencia remanente tras tener el “Electrolizador 1” trabajando a potencia nominal

es mayor de 2 MW.

3. En el caso de que el “Electrolizador 2” esté trabajando a potencia nominal, se encenderá el “Electrolizador 3” siguiendo la misma lógica expuesta para poner en marcha el “Electrolizador 2”.

### 5.2.2.1 Energía disponible clasificada respecto a la potencia nominal del electrolizador

A continuación, se presenta el estudio realizado para conocer cuánto tiempo está el electrolizador funcionando y en qué rango de potencia respecto a su potencia nominal está trabajando.

Para ello, se ha optado por dividir las franjas de energía en tramos de 10% respecto a la potencia nominal del electrolizador.

Primeramente, se presenta una tabla tipo para poder adquirir una mejor comprensión de qué se ha realizado, para posteriormente llegar a las conclusiones sobre este estudio de energía capaz de ser aprovechada por cada electrolizador.

Debido al volumen de datos, las tablas detalladas de cada caso se encuentran disponibles en el Anexo D.

Para ello, tomamos como muestra el caso 1, el cual se corresponde con una configuración en la que tenemos un único electrolizador de 10 MW.

La tabla que recoge los datos energéticos anuales para este electrolizador es la siguiente:

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto $P_{nominal}$	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con $P > 20\% P_{nom}$
$P_{nominal}$	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>26 190 827</b>		
<b>Horas con <math>P &gt; 20\% P_{nominal}</math></b>		<b>2926</b>		

Tabla 11 Datos energéticos de la planta para electrolizador 10 MW.

Explicación de la tabla por columnas:

·**% respecto  $P_{nominal}$** : Esta columna indica en qué franja de potencia se encuentra la fila. Por ejemplo, si estamos en la franja del 90 – 100% de la potencia nominal para un electrolizador de 10 MW, quiere decir que está recibiendo una potencia de 9 a 10 MW.

·**Horas en franja de potencia**: Muestra el número de horas a lo largo del período a considerar en las que el electrolizador se encuentra trabajando en la potencia marcada por su fila.

·**Energía total por franja**: Muestra el cómputo total de energía que se ha empleado en el electrolizador teniendo dentro de la franja de potencia establecida.

Se muestra con un ejemplo para que se comprenda con mayor claridad.

Se supone el siguiente rango de potencia disponible:

Hora	Potencia (kW)
0:00	-
1:00	-
2:00	-
3:00	-
4:00	-
5:00	-
6:00	-
7:00	-
8:00	-
9:00	-
10:00	471,0
11:00	4 588,0
12:00	6 841,0
13:00	7 372,0
14:00	6 722,0
15:00	3 366,0
16:00	-
17:00	-
18:00	-
19:00	-
20:00	-
21:00	-
22:00	-
23:00	-

Tabla 12 Potencia excedente para producir hidrógeno.

Si nos encontramos mirando el rango de potencia de entre 60 y 70% para un electrolizador de 10 MW (de 6 a 7 MW), solo se contabilizarán los tramos horarios de las 12:00 h y de las 14:00 h (marcados en verde).

**-% por rango:** Esta columna muestra el porcentaje de horas de cada rango de potencia respecto al total de horas con potencia excedente aprovechable.

**-% rangos con  $P > 20\% P_{nom}$ :** Esta columna muestra el porcentaje de horas de cada rango de potencia respecto al total de horas con potencia excedente aprovechable siempre que sea mayor al 20% de la potencia nominal del electrolizador.

A continuación, se muestra cómo sería la distribución de un caso en el que disponemos de una configuración de tres electrolizadores. Se toma el caso 4, el cual tiene la siguiente disposición:

Caso 4	Potencia (MW)
Electrolizador 1	10
Electrolizador 2	4
Electrolizador 3	2

Tabla 13 Electrolizadores para caso 4.

<b>ELECTROLIZADOR 10 MW</b>				
<b>% respecto P<sub>nominal</sub></b>	<b>Horas en franja de potencia</b>	<b>Energía total por franja (kWh)</b>	<b>% por rango</b>	<b>% rango con P &gt; 20% P<sub>nom</sub></b>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>26 190 827</b>		
<b>Horas con P&gt;20% P<sub>nominal</sub></b>		<b>2926</b>		

<b>ELECTROLIZADOR 4 MW</b>				
<b>% respecto P<sub>nominal</sub></b>	<b>Horas en franja de potencia</b>	<b>Energía total por franja (kWh)</b>	<b>% por rango</b>	<b>% rango con P &gt; 20% P<sub>nom</sub></b>
P <sub>nominal</sub>	1618	6 472 000	51,1%	80,9%
90%-100%	60	228 151	1,9%	3,0%
80%-90%	59	199 877	1,9%	3,0%
70%-80%	47	140 328	1,5%	2,4%
60%-70%	46	120 106	1,5%	2,3%
50%-60%	49	107 543	1,5%	2,5%
40%-50%	40	71 828	1,3%	2,0%
30%-40%	39	54 532	1,2%	2,0%
20%-30%	42	43 255	1,3%	2,1%
10%-20%	40	24 965	1,3%	
0%-10%	48	10 473	1,5%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>7 437 621</b>		
<b>Horas con P&gt;20% P<sub>nominal</sub></b>		<b>2000</b>		

ELECTROLIZADOR 2 MW				
% respecto $P_{nominal}$	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con $P > 20\% P_{nom}$
$P_{nominal}$	1349	2 698 000	42,6%	86,0%
90%-100%	24	45 419	0,8%	1,5%
80%-90%	29	49 791	0,9%	1,8%
70%-80%	22	33 747	0,7%	1,4%
60%-70%	30	39 408	0,9%	1,9%
50%-60%	29	32 318	0,9%	1,8%
40%-50%	31	28 381	1,0%	2,0%
30%-40%	27	18 897	0,9%	1,7%
20%-30%	28	13 768	0,9%	1,8%
10%-20%	25	7 740	0,8%	
0%-10%	24	1 914	0,8%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>2 959 729</b>		
<b>Horas con <math>P &gt; 20\% P_{nominal}</math></b>		<b>1569</b>		

Tabla 14 Datos energéticos de la planta para caso 4.

De forma resumida, los datos obtenidos para el Caso 4 son los siguientes:

Caso 4	Potencia (MW)	Energía (kWh)	Horas con $P > 20\% P_{nom}$
Electrolizador 1	10	26 190 827	2926
Electrolizador 2	4	7 437 621	2000
Electrolizador 3	2	2 959 729	1569
<b>Energía total</b>		<b>36 588 177</b>	

Tabla 15 Resumen energético caso 4.

Se puede apreciar, como es lógico, que el número de horas que trabaja cada electrolizador de la cadena es menor, ya que estos solo entran en acción cuando su anterior está trabajando a potencia nominal.

Haciendo este proceso para cada uno de los casos, obtenemos los siguientes datos de energía aprovechable para cada sistema diseñado:

CASO	Potencia total (MW)	Electrolizador 1		Electrolizador 2		Electrolizador 3		Energía total (kWh)
		Potencia (MW)	Energía aprovechable (kWh)	Potencia (MW)	Energía aprovechable (kWh)	Potencia (MW)	Energía aprovechable (kWh)	
1	10	10	26 190 827	0	-	0	-	26 190 827
2	12	10	26 190 827	2	3 952 580	0	-	30 143 407
3	14	10	26 190 827	4	7 437 621	0	-	33 628 448
4	16	10	26 190 827	4	7 437 621	2	2 959 729	36 588 177
5	18	10	26 190 827	4	7 437 621	4	5 327 286	38 955 734
6	20	10	26 190 827	10	14 373 685	0	-	40 564 512
7	22	10	26 190 827	10	14 373 685	2	941 115	41 505 627
8	24	10	26 190 827	10	14 373 685	4	1 226 699	41 791 212

Tabla 16 Energía aprovechable por cada caso.

Una vez tenemos la energía total aprovechable de cada configuración, se procede a calcular la cantidad de hidrógeno que se es capaz de producir.

Para ello, se debe tener en cuenta que el rendimiento del electrolizador cambia en función de la potencia a la que trabaja. Los fabricantes suelen aportar únicamente el dato de rendimiento a potencia nominal. En nuestro caso, para los electrolizadores H-TEC HCS tenemos los siguientes datos:

<b>Rendimiento del sistema a potencia nominal</b>	74 %
<b>Energía consumida a potencia nominal</b>	4,8 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>

Por lo tanto, solo se posee el dato de cuánta energía es necesaria para obtener 1 Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> trabajando a potencia nominal. Para el resto del rango de potencias de trabajo el fabricante no aporta la energía que se consume.

Para obtener el rendimiento del electrolizador a cada rango de potencia se ha tomado como base un estudio del departamento de Física de la Universidad de Xiamen. El artículo se titula “*Efficiency Calculation and Configuration Design of a PEM Electrolyzer System for Hydrogen Production*” [Calculo de eficiencia y configuración de diseño de un electrolizador PEM para producción de hidrógeno] [3]. En él se establece una relación entre la densidad de corriente existente y el rendimiento. La densidad de corriente la podemos comparar con la potencia de trabajo, por lo que podemos alcanzar una relación directa entre la potencia de entrada y el rendimiento.

Tomando como base este estudio, se ha realizado una estimación de la curva de rendimiento del electrolizador en función de la potencia suministrada a la entrada. Partimos de la siguiente curva presentada en el artículo:

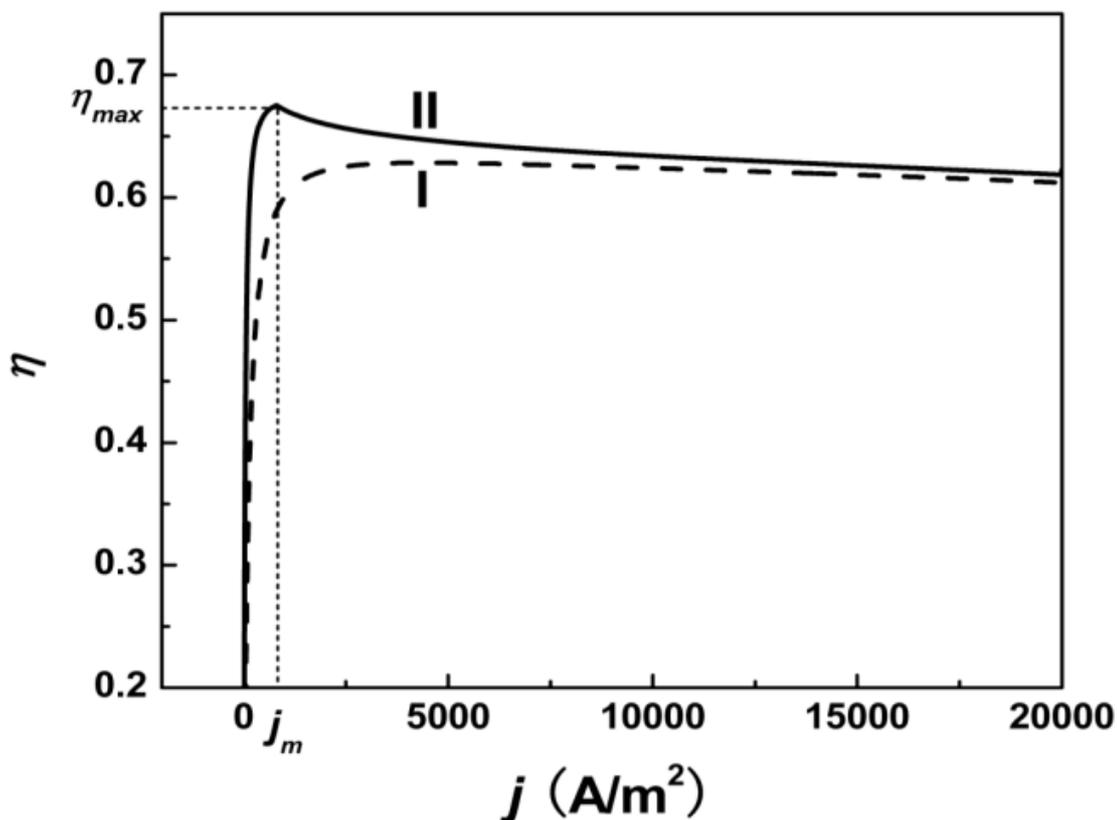


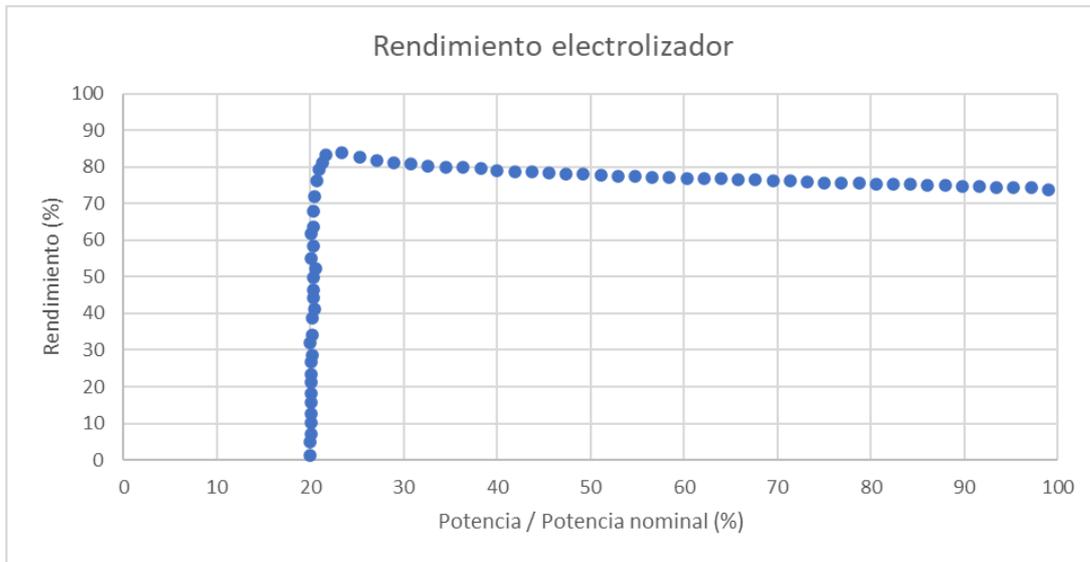
Ilustración 39 Rendimiento de un electrolizador en función de la densidad de corriente ( $j$ ).

En esta curva, como ya se ha comentado, se enfrenta la densidad de corriente ( $j$ ) con el rendimiento ( $\eta$ ). Para nuestra estimación, se mantiene la forma de la curva y cambiando lo siguiente:

- En el eje de ordenadas se considera que se tiene potencia en lugar de densidad de corriente.
- Se considera el punto  $j = 20\,000\text{ A/m}^2$  como el punto de potencia nominal del electrolizador. El rendimiento en este punto se corresponderá con 74 % (valor que proporciona el fabricante).
- Se considera que el punto  $j = 0\text{ A/m}^2$  se corresponde con el valor justo anterior al 20 % de la potencia nominal, para el cual el electrolizador está justo en el punto de empezar a trabajar. Por lo tanto, su rendimiento es 0 %.

-Se considera que el punto de máximo rendimiento se da cuando el electrolizador funciona a un 25 % de su potencia nominal.

Con estas consideraciones se obtiene la siguiente gráfica:



*Ilustración 40 Rendimiento electrolizador en función de la potencia (% respecto a nominal).*

Como se indicó anteriormente, se ha dividido los rangos de potencia del electrolizador en tramos de potencia de 10 %. Para cada uno de estos tramos se obtiene el siguiente rendimiento en la curva:

<b><math>P / P_{nominal}</math></b>	<b>Rendimiento</b>
<i>P nominal</i>	74,0%
90%-100%	74,3%
80%-90%	75,1%
70%-80%	75,6%
60%-70%	76,6%
50%-60%	77,3%
40%-50%	78,2%
30%-40%	79,9%
20%-30%	82,7%
10%-20%	0,0%
0%-10%	0,0%

*Ilustración 41 Rendimiento del electrolizador para cada rango de potencia.*

Partiendo de la premisa que da el fabricante de que, a potencia nominal, son necesarios 4,8 kWh para obtener 1 Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>, se puede calcular la energía necesaria para cada rango de potencia. Es la siguiente:

$P / P_{nominal}$	Rendimiento	Energía necesaria para 1 Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> (kWh)
<i>P nominal</i>	74%	4,8
90%-100%	74%	4,8
80%-90%	75%	4,7
70%-80%	76%	4,7
60%-70%	77%	4,6
50%-60%	77%	4,6
40%-50%	78%	4,5
30%-40%	80%	4,4
20%-30%	83%	4,3
10%-20%	0%	0,0
0%-10%	0%	0,0

Tabla 17 Energía necesaria para producir hidrógeno para cada tramo de potencia.

Con este dato, se puede obtener la producción de cada electrolizador en el cómputo de todo el año. Para pasar de Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> a kg H<sub>2</sub> se utiliza el siguiente factor de conversión.

$$\frac{0,0899 \text{ kg H}_2}{1 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2}$$

A continuación, se muestra la tabla de producción anual del caso 1, en el que se tiene un electrolizador de 10 MW:

Potencia (kW)	Horas totales	Energía (kWh)	Energía (kWh) / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> producido	kg H <sub>2</sub> producido
10 000	2 088	20 880 000	4,8	4 350 000	391 065
10 000	105	993 949	4,8	207 912	18 691
9 000	133	1 123 520	4,7	237 546	21 355
8 000	132	996 228	4,7	212 035	19 062
7 000	131	854 722	4,6	184 324	16 571
6 000	90	496 715	4,6	108 097	9 718
5 000	83	381 823	4,5	84 061	7 557
4 000	59	205 278	4,4	46 176	4 151
3 000	105	258 592	4,3	60 207	5 413
2 000	114	165 252	-	-	-
1 000	124	64 266	-	-	-
		<b>26 190 827</b>		<b>5 490 358</b>	<b>493 583</b>

Tabla 18 Producción hidrógeno anual caso 1.

Este proceso se realiza con cada uno de los 8 casos que se estudian para conocer cuál es la producción total de hidrógeno que se puede alcanzar con cada combinación de electrolizadores. El resultado obtenido es el siguiente:

CASOS	Potencia (MW)	ELEC.1	ELEC.2	ELEC.3	Electrolizador 1		Electrolizador 2		Electrolizador 3		TOTAL	
		POTENCIA (MW)			Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
1	10	10	0	0	5 490 358	493 583	-	-	-	-	5 490 358	493 583
2	12	10	2	0	5 490 358	493 583	824 827	74 152	-	-	6 315 185	567 735
3	14	10	4	0	5 490 358	493 583	1 555 641	139 852	-	-	7 045 999	633 435
4	16	10	4	2	5 490 358	493 583	1 555 641	139 852	618 530	55 606	7 664 529	689 041
5	18	10	4	4	5 490 358	493 583	1 555 641	139 852	1 117 600	100 472	8 163 599	733 908
6	20	10	10	0	5 490 358	493 583	3 042 600	273 530	-	-	8 532 958	767 113
7	22	10	10	2	5 490 358	493 583	3 042 600	273 530	198 696	17 863	8 731 653	784 976
8	24	10	10	4	5 490 358	493 583	3 042 600	273 530	264 039	23 737	8 796 997	790 850

Tabla 19 Producción para cada combinación de electrolizadores.

Con esta tabla concluye el apartado de dimensionado del electrolizador. Tras realizar los cálculos y procedimientos mostrados, se obtiene el dato de producción anual que es capaz de dar cada uno de los ocho sistemas planteados. Una vez conocido este dato, se procede a decidir qué combinación se escoge. Como ya se ha comentado, esta será en base a la rentabilidad económica.

## 5.3 Decisión sobre el electrolizador basada en rentabilidad económica

### 5.3.1 Coste electrolizador

Al igual que ocurría con la gráfica de rendimiento, es realmente complicado obtener un coste real del electrolizador proporcionado por el fabricante. Por ello, para el estudio económico se ha decidido tomar los datos de una web enfocada a la estimación de costes de los equipos para proyectos de hidrógeno. Se trata del portal [hyjack.tech](http://hyjack.tech).

HyJack permite obtener un coste estimado de electrolizadores, tanques de almacenamiento, equipos de compresión, ... a partir del aporte de algunos datos básicos de entrada. Por ejemplo, en el caso de un electrolizador basta con decir qué tecnología usa (alcalino, PEM, SOE) y la potencia nominal. Una vez aportado el dato, el programa da una estimación del coste que tendría este equipo.

Para este estudio se ha visto conveniente usar este método para estimar los costes. A continuación, se muestra una imagen como ejemplo de lo que realiza el programa y posteriormente se pasará a exponer los resultados que arroja HyJack para los electrolizadores elegidos en este proyecto.

**TECHNOLOGY**

Switch between pressurized Alkaline or Proton exchange membrane electrolysis technologies.

PEM

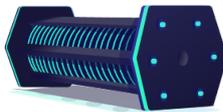
---

**INLET**

Nominal Power

Water Flow  
1 651 L H<sub>2</sub>O/h

Heat Required  
0kW<sub>th</sub>



**OUTLET**

Nominal Hydrogen Flow

Oxygen Flow  
1 380 kg O<sub>2</sub>/h

Heat Recovery  
2 740 kW<sub>th</sub>

---

**TOTAL PRODUCTION**

Avg. Electricity Consumption

Capacity factor

100%

Avg. H<sub>2</sub> Production

---

**COSTING**

Euro(€)

Indicative Equipment Cost  
9 585 434 €

Total cost low range  
16 295 238 €

Total cost high range  
22 046 498 €

Fair estimate
View details

**CALCULATION PARAMETERS**

Efficiency  
72,14

Edit

Unitary Cost  
958,54

Edit

*Ilustración 42 Estimación coste electrolizador. Fuente: HyJack.*

Tras aportar que se usa un electrolizador PEM y que la potencia es de 10 MW, HyJack sugiere un Coste Indicativo del Equipo (Indicative Equipment Cost) de 9 585 434 €.

En este proyecto se han considerado 3 electrolizadores distintos. Tomando como base las estimaciones de HyJack, se suponen los siguientes costes para cada uno de los tipos de electrolizador:

ELECTROLIZADOR	POTENCIA (MW)	COSTE (€)	€/MW
Modelo 1	2	2 600 000	1 300 000
Modelo 2	4	4 600 000	1 150 000
Modelo 3	10	9 600 000	960 000

*Ilustración 43 Coste de cada electrolizador en función de la potencia.*

Una vez estimado el coste de cada electrolizador, se pasa a calcular la inversión total en electrolizadores que habría que realizar en cada uno de los 8 casos expuestos. Los resultados son los siguientes.

CASOS	POTENCIA TOTAL (MW)	POTENCIA (MW)			COSTE (€)			COSTE TOTAL (€)
		ELEC 1	ELEC 2	ELEC 3	ELEC 1	ELEC 2	ELEC 3	
1	10	10	-	-	9 600 000	-	-	9 600 000
2	12	10	2	-	9 600 000	2 600 000	-	12 200 000
3	14	10	4	-	9 600 000	4 600 000	-	14 200 000
4	16	10	4	2	9 600 000	4 600 000	2 600 000	16 800 000
5	18	10	4	4	9 600 000	4 600 000	4 600 000	18 800 000
6	20	10	10	-	9 600 000	9 600 000	-	19 200 000
7	22	10	10	2	9 600 000	9 600 000	2 600 000	21 800 000
8	24	10	10	4	9 600 000	9 600 000	4 600 000	23 800 000

*Ilustración 44 Inversión a realizar para cada combinación de electrolizadores.*

Con el coste para cada una de las casuísticas se puede comparar la producción anual de hidrógeno respecto al coste del equipo. Como se comentó cuando se expusieron los pasos a seguir para tomar la decisión sobre la instalación, la ratio que compara la cantidad de hidrógeno producido y el coste de cada conjunto de electrolizadores decidirá qué configuración de equipo se tomará.

CASOS	POTENCIA TOTAL (MW)	COSTE TOTAL (€)	kg H <sub>2</sub> / AÑO	$\frac{COSTE\ TOTAL\ (€)}{kg\ H_2/AÑO}$
1	10	9 600 000	493 583	<b>19,45</b>
2	12	12 200 000	567 735	<b>21,49</b>
3	14	14 200 000	633 435	<b>22,42</b>
4	16	16 800 000	689 041	<b>24,38</b>
5	18	18 800 000	733 908	<b>25,62</b>
6	20	19 200 000	767 113	<b>25,03</b>
7	22	21 800 000	784 976	<b>27,77</b>
8	24	23 800 000	790 850	<b>30,09</b>

*Ilustración 45 Estimación del coste de producción anual por kilogramo para cada combinación.*

Ordenando de mayor a menor rentabilidad se obtiene el siguiente resultado:

CASOS	POTENCIA TOTAL (MW)	POTENCIA (MW)			COSTE (€)			COSTE TOTAL (€)	kg H <sub>2</sub> / AÑO	$\frac{COSTE\ TOTAL\ (€)}{kg\ H_2/AÑO}$
		ELEC 1	ELEC 2	ELEC 3	ELEC 1	ELEC 2	ELEC 3			
1	10	10	-	-	9 600 000	-	-	9 600 000	493 583	<b>19,45</b>
2	12	10	2	-	9 600 000	2 600 000	-	12 200 000	567 735	<b>21,49</b>
3	14	10	4	-	9 600 000	4 600 000	-	14 200 000	633 435	<b>22,42</b>
4	16	10	4	2	9 600 000	4 600 000	2 600 000	16 800 000	689 041	<b>24,38</b>
6	20	10	10	-	9 600 000	9 600 000	-	19 200 000	767 113	<b>25,03</b>
5	18	10	4	4	9 600 000	4 600 000	4 600 000	18 800 000	733 908	<b>25,62</b>
7	22	10	10	2	9 600 000	9 600 000	2 600 000	21 800 000	784 976	<b>27,77</b>
8	24	10	10	4	9 600 000	9 600 000	4 600 000	23 800 000	790 850	<b>30,09</b>

*Ilustración 46 Rentabilidad de cada combinación ordenada de mayor a menor.*

Por lo tanto, la configuración más rentable es el caso 1, en el cual solo se coloca un electrolizador de 10 MW. Puede surgir la duda de si la rentabilidad hubiera sido mayor colocando 2 electrolizadores de 4 MW para alcanzar 8 MW de potencia. Como se expuso anteriormente, este caso no se contempló ya que el precio de colocar 2 electrolizadores de 4 MW es bastante superior y la producción es menor, por lo que la rentabilidad habría sido menor.

Evaluando la ratio coste producción se observa que el coste va creciendo siempre que aumentamos la potencia del sistema. Solo el caso 6 (dos electrolizadores de 10 MW) es más favorable económicamente que el 5 (Uno de 10 y 2 de 4).

Analizando los datos obtenidos, se toma la decisión de que para esta planta de producción se decide avanzar con el caso 1: 1 electrolizador de 10 MW.

En la siguiente tabla se muestra la producción diaria de hidrógeno que sería capaz de producir la planta aprovechando los excedentes de energía eléctrica provenientes de la planta fotovoltaica.

PRODUCCIÓN DIARIA HIDRÓGENO (kg)												
DÍA / MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	132	1 240	868	1 268	1 681	1 591	1 589	1 644	1 622	1 591	1 250	1 403
2	1 130	1 397	1 278	663	1 624	1 600	1 604	1 610	1 336	1 529	1 460	1 370
3	1 369	434	1 423	664	1 696	859	1 467	1 607	1 624	1 545	828	1 338
4	1 307	43	1 444	1 667	1 715	1 704	1 537	1 619	1 588	1 565	1 417	1 205
5	1 227	706	1 530	1 124	1 693	1 702	1 597	1 624	1 603	1 512	1 448	1 217
6	563	565	1 334	674	1 705	1 692	1 652	1 603	1 613	1 404	411	1 266
7	1 311	1 212	251	1 663	1 526	1 688	1 639	1 556	1 636	1 493	1 026	1 298
8	1 131	1 033	970	1 669	1 590	1 723	1 638	1 540	1 516	1 408	696	1 334
9	802	1 453	813	1 647	1 566	1 573	1 602	1 615	1 597	1 440	1 310	1 288
10	808	1 373	1 316	909	1 705	1 568	1 632	1 539	1 623	1 586	1 342	1 254
11	1 353	1 388	1 524	1 650	1 535	1 611	1 627	1 601	1 590	1 497	1 373	-
12	1 291	1 418	1 602	1 498	1 716	1 584	1 584	1 557	1 591	534	1 169	1 113
13	1 299	937	1 632	1 635	1 660	1 695	1 607	1 591	1 204	627	898	1 262
14	1 211	1 335	1 577	1 670	1 677	1 691	1 607	1 542	1 313	1 249	227	1 266
15	1 346	1 500	1 549	1 190	1 683	1 603	1 621	1 565	1 559	1 530	1 360	497
16	1 433	1 484	1 539	1 586	1 154	1 380	1 617	1 589	1 598	1 476	1 458	585
17	1 171	1 468	1 588	1 546	1 629	1 626	1 607	1 603	1 553	1 037	1 354	400
18	1 422	1 509	1 485	1 708	1 671	1 522	1 583	1 598	1 509	448	1 390	-
19	1 374	1 116	1 575	1 640	1 712	1 602	1 540	1 591	987	1 530	1 323	1 278
20	1 342	785	1 602	1 367	1 684	1 587	1 577	1 609	1 567	1 425	1 334	1 185
21	1 293	1 168	990	1 248	1 654	1 607	1 585	1 605	1 456	1 410	1 199	140
22	408	1 422	1 629	1 435	1 673	1 598	1 562	1 317	1 616	1 481	1 122	788
23	1 454	1 061	1 650	1 687	1 695	1 587	1 594	1 569	1 597	1 452	1 187	1 191
24	1 468	1 358	1 596	1 702	1 722	1 623	1 577	1 445	1 566	1 525	1 418	340
25	1 460	1 142	1 630	1 722	1 200	1 583	1 614	1 244	903	686	1 387	196
26	1 394	1 115	1 366	1 625	1 690	1 587	1 383	1 594	1 424	1 442	1 378	1 274
27	831	-	1 609	489	1 717	1 598	1 556	1 558	569	902	-	1 302
28	1 244	1 464	1 609	809	1 650	1 652	1 580	1 623	1 294	1 009	1 410	1 190
29	1 279		1 489	1 435	1 692	1 628	1 588	1 535	1 022	1 463	1 349	1 148
30	283		1 162	1 397	1 240	1 606	1 581	1 583	1 603	1 375	859	1 190
31	900		1 354		1 521		1 601	1 575		1 416		540
<b>Total mensual</b>	<b>35 035</b>	<b>31 125</b>	<b>42 985</b>	<b>40 986</b>	<b>50 074</b>	<b>47 668</b>	<b>49 147</b>	<b>48 448</b>	<b>43 280</b>	<b>40 589</b>	<b>34 387</b>	<b>29 858</b>

*Ilustración 47 Producción diaria de hidrógeno para el caso seleccionado.*

Con el dato de producción diaria de hidrógeno que sería capaz de alcanzar la planta, se pasa a diseñar el sistema de almacenamiento.

## 5.4 Almacenaje

El hidrógeno producido se almacenará en tanques hasta que se efectúa su retirada. En este proyecto se ha considerado que habrá una retirada cada 24 h. A partir del dato de producción diaria y la frecuencia de retirada, se pasa a dimensionar los depósitos necesarios.

Para el almacenaje se ha considerado la utilización de tanques de la marca Lapesa. Esta empresa está especializada en fabricar recipientes a presión. Dentro de sus productos se encuentra una gama dedicada al almacenamiento de hidrógeno gas.

Disponen de modelos de almacenamiento tanto horizontales como verticales con una presión máxima admisible de 40 bar. El proceso de fabricación, como es de esperar, está enfocado al almacenamiento de hidrógeno. Los procesos de soldadura utilizados están controlados para usar el tanque para hidrógeno.

Los modelos que ofertan son los siguientes:

## MODELOS Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

MODELOS HORIZONTALES	LH 10H	LH 25H	LH 50H	LH 100H	LH 145H	LH 200H
Volumen nominal ( $m^3$ )	10	25	50	100	145	200
Diámetro exterior $D$ (mm)	1.500	2.200	2.450	3.000	3.000	3.500
Longitud total $L$ (mm)	5.950	7.350	11.550	15.350	21.850	22.300
Peso en vacío (Ton)	3,5	8,9	18,2	34,7	48,3	66,8
Peso contenido de $H_2$ (kg) <sup>1</sup>	36	90	180	360	522	720

MODELOS VERTICALES	LH 10V	LH 25V	LH 50V	LH 100V	LH 145V	LH 200V
Volumen nominal ( $m^3$ )	10	25	50	100	145	200
Diámetro exterior $D$ (mm)	1.500	2.200	2.450	3.000	3.000	3.500
Altura total $L$ (mm)	6.300	7.850	12.000	15.850	22.350	22.800
Peso en vacío (Ton)	3,7	10,1	19,2	36	49,6	69
Peso contenido de $H_2$ (kg) <sup>1</sup>	36	90	180	360	522	720

(1) Peso del gas a 40 bar y 0°C.

Tabla 20 Características técnicas modelos tanques de almacenamiento Lapesa.

Como comentan en la nota, el peso de  $H_2$  máximo que son capaces de almacenar cada uno de los modelos es a 0 °C y 40 bar.

A la salida del electrolizador se tiene una temperatura de 25 °C y una presión de 30 bar.

A esta altura de diseño se plantean 2 situaciones:

• **Caso 1:** Almacenar el hidrógeno en las condiciones de salida del electrolizador (temperatura de 25 °C y presión de 30 bar).

• **Caso 2:** Aumentar la presión hasta la máxima admitida por el depósito (40 bar) asumiendo el incremento de temperatura derivado de la compresión, para así tener una mayor densidad y ocupar menos volumen.

Se va a proceder a estudiar cada uno de estos dos casos.

#### 5.4.1 Caso 1: Almacenar Hidrógeno en las condiciones de salida del electrolizador.

Se supone que no existen pérdidas de presión entre la salida del electrolizador y la entrada en el tanque de almacenamiento. Por lo tanto, dentro del tanque el hidrógeno estará a 30 bar y 25 °C. El hidrógeno a estas condiciones presenta las siguientes características:

##### *Caso 1. Condiciones del hidrógeno.*

<i>Temperatura</i>	298 K
<i>Presión</i>	30 bar
<i>Densidad</i>	2,3983 kg/m <sup>3</sup>
$c_v$	10,203 J/(mol·K)
$c_p$	14,384 J/(mol·K)

Tabla 21 Caso 1. Condiciones del hidrógeno.

Partimos de la premisa de que se usarán los tanques de mayor almacenamiento. Los motivos son dos:

1. La relación precio – volumen disminuye a medida que el volumen del depósito va aumentando.

2. Se buscará minimizar el número de tanques a utilizar. Suponiendo mismo coste (cosa que no es real como se comenta en el punto 1), se prefiere 1 tanque de 100 m<sup>3</sup> a 2 de 50 m<sup>3</sup>.

Por ello, se realizarán los cálculos tomando como depósito el modelo LH 200V, el cual tiene un volumen nominal de 200 m<sup>3</sup>.

La capacidad máxima de almacenamiento en masa será:

$$\text{masa admisible}_{H_2} = \text{Volumen}_{\text{tanque}} \cdot \rho_{H_2}$$

Para las condiciones 1 (presión de 30 bar y temperatura de 298 K), la masa admisible será:

$$\text{masa admisible}_{H_2} = 200 \text{ m}^3 \cdot 2,3983 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 479,66 \text{ kg}$$

Sabiendo este valor y con la premisa de que habrá una retirada de hidrógeno de la planta cada 24 h, habrá que calcular el número de tanques necesarios. Este cálculo se realizará en conjunto con el del “Caso 2”.

#### 5.4.2 Caso 2: Aumentar la presión previo a almacenamiento

En este segundo caso se aumenta la presión del gas de salida del electrolizador hasta los 40 bares. Para ello, será necesario colocar un compresor a la salida del electrolizador, el cual habrá que tenerlo en cuenta a la hora de estimar costes (tanto de compra como de gasto eléctrico para el funcionamiento).

Para el cálculo de las condiciones del hidrógeno en este proceso se conoce la presión y temperatura de entrada al compresor y la presión deseada a la salida. Falta por conocer la temperatura para poder saber la densidad que tendrá el hidrógeno.

Se nombra como:

- Condiciones iniciales (1): Condiciones del hidrógeno a la salida del electrolizador. Se corresponde con las del caso 1.

- Condiciones finales (2): Condiciones del hidrógeno a la salida del compresor.

Suponiendo un comportamiento isentrópico, podemos obtener la temperatura de salida a través de la siguiente relación:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Donde  $\gamma$  es el coeficiente de compresión adiabática, el cual se calcula dividiendo la capacidad calorífica específica del gas a presión constante ( $c_p$ ) entre la capacidad específica del gas a volumen constante ( $c_v$ ).

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

Tanto  $c_p$  como  $c_v$  dependen de la temperatura. Para el primer cálculo, se supondrá una temperatura de salida de 25 °C para mirar en las tablas estos valores y posteriormente se hará una iteración para afinar el dato.

Por lo tanto, se parte de lo siguiente:

#### *Condiciones iniciales. Propiedades del hidrógeno*

<i>Temperatura</i>	298 K
<i>Presión</i>	30 bar
$c_v$	10,203 J/(mol·K)
$c_p$	14,384 J/(mol·K)

#### *Condiciones finales. Propiedades del hidrógeno*

<i>Temperatura</i>	298 K
<i>Presión</i>	40 bar
$c_v$	10,211 J/(mol·K)
$c_p$	14,409 J/(mol·K)

Tabla 22 Propiedades del hidrógeno en condiciones 1 y 2.

Para el cálculo del coeficiente de compresión adiabática  $\gamma$  se toma el promedio de cada una de las capacidades caloríficas.

$$\gamma = \frac{\frac{c_{p_{condiciones\ 1}} + c_{p_{condiciones\ 2}}}{2}}{\frac{c_{v_{condiciones\ 1}} + c_{v_{condiciones\ 2}}}{2}} = 1,4104$$

Tomando la ecuación para el comportamiento isentrópico, se obtiene la temperatura de salida del compresor:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 298\text{ K} \cdot \left(\frac{40\text{ bar}}{30\text{ bar}}\right)^{\frac{1,4104-1}{1,4104}} = 324,0\text{ K}$$

Conociendo la temperatura y presión de las condiciones 2 se pueden conocer el resto de propiedades:

### **Condiciones finales. Propiedades del hidrógeno**

<i>Temperatura</i>	324 K
<i>Presión</i>	40 bar
<i>Densidad</i>	2,9277 kg/m <sup>3</sup>
$c_v$	20,734 J/(mol·K)
$c_p$	29,164 J/(mol·K)

Tabla 23 Condiciones finales. Condiciones del hidrógeno.

Ahora se realiza la segunda iteración conociendo las capacidades caloríficas de las condiciones finales.

$$\gamma = \frac{\frac{c_{p_{condiciones\ 1}} + c_{p_{condiciones\ 2}}}{2}}{\frac{c_{v_{condiciones\ 1}} + c_{v_{condiciones\ 2}}}{2}} = 1,4076$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 298\text{ K} \cdot \left(\frac{40\text{ bar}}{30\text{ bar}}\right)^{\frac{1,4076-1}{1,4076}} = 323,9\text{ K}$$

Se aprecia que tras la segunda iteración solo hay un cambio de 0,1 K, por lo que se considera como buena la temperatura de 323,9 K.

Haciendo una recapitulación de las condiciones, se dan las siguientes:

<b>Hidrógeno</b>	<b>Condiciones iniciales</b>	<b>Condiciones finales</b>
<i>Temperatura</i>	298,0 K	323,9 K

<i>Presión</i>	30 bar	40 bar
<i>Densidad</i>	2,3983 kg/m <sup>3</sup>	2,9277 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 24 Comparativa condiciones iniciales y finales del hidrógeno.

Conociendo las densidades, se conoce la masa máxima que puede almacenar un tanque LH 200 V (200 m<sup>3</sup> de capacidad)

<i>Depósito LH 200 V</i>	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 2</i>
<i>Masa almacenable (kg)</i>	479,66	585,54

### 5.4.3 Número necesario de tanques de almacenamiento

A continuación, se procede a calcular la cantidad de tanques necesarios para almacenar la producción diaria teniendo en cuenta cada una de las dos condiciones. Para ello, se parte de una cantidad mínima de 2 tanques y se estudia la cantidad de días que la capacidad planteada no sería capaz de almacenar la producción total del día.

Se ha marcado el objetivo de una retirada cada 24 h, por lo que la combinación de tanques a colocar debe ser capaz de almacenar esta masa de hidrógeno producido en la totalidad del año (o casi en su totalidad, si fuera necesaria alguna retirada extra puntual no sería problema).

Para ello, se toman los datos de producción diaria de masa de hidrógeno y se compara con la capacidad máxima que tiene un tanque para las condiciones a las que se encuentra el hidrógeno. Se vuelve a presentar la tabla de producción diaria de hidrógeno para mayor facilidad de comprensión.

PRODUCCIÓN DIARIA HIDRÓGENO (kg)												
DÍA / MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	132	1240	868	1268	1681	1591	1589	1644	1622	1591	1250	1403
2	1130	1397	1278	663	1624	1600	1604	1610	1336	1529	1460	1370
3	1369	434	1423	664	1696	859	1467	1607	1624	1545	828	1338
4	1307	43	1444	1667	1715	1704	1537	1619	1588	1565	1417	1205
5	1227	706	1530	1124	1693	1702	1597	1624	1603	1512	1448	1217
6	563	565	1334	674	1705	1692	1652	1603	1613	1404	411	1266
7	1311	1212	251	1663	1526	1688	1639	1556	1636	1493	1026	1298
8	1131	1033	970	1669	1590	1723	1638	1540	1516	1408	696	1334
9	802	1453	813	1647	1566	1573	1602	1615	1597	1440	1310	1288
10	808	1373	1316	909	1705	1568	1632	1539	1623	1586	1342	1254
11	1353	1388	1524	1650	1535	1611	1627	1601	1590	1497	1373	-
12	1291	1418	1602	1498	1716	1584	1584	1557	1591	534	1169	1113
13	1299	937	1632	1635	1660	1695	1607	1591	1204	627	898	1262
14	1211	1335	1577	1670	1677	1691	1607	1542	1313	1249	227	1266
15	1346	1500	1549	1190	1683	1603	1621	1565	1559	1530	1360	497
16	1433	1484	1539	1586	1154	1380	1617	1589	1598	1476	1458	585
17	1171	1468	1588	1546	1629	1626	1607	1603	1553	1037	1354	400
18	1422	1509	1485	1708	1671	1522	1583	1598	1509	448	1390	-
19	1374	1116	1575	1640	1712	1602	1540	1591	987	1530	1323	1278
20	1342	785	1602	1367	1684	1587	1577	1609	1567	1425	1334	1185
21	1293	1168	990	1248	1654	1607	1585	1605	1456	1410	1199	140
22	408	1422	1629	1435	1673	1598	1562	1317	1616	1481	1122	788
23	1454	1061	1650	1687	1695	1587	1594	1569	1597	1452	1187	1191
24	1468	1358	1596	1702	1722	1623	1577	1445	1566	1525	1418	340
25	1460	1142	1630	1722	1200	1583	1614	1244	903	686	1387	196
26	1394	1115	1366	1625	1690	1587	1383	1594	1424	1442	1378	1274
27	831	-	1609	489	1717	1598	1556	1558	569	902	-	1302
28	1244	1464	1609	809	1650	1652	1580	1623	1294	1009	1410	1190
29	1279		1489	1435	1692	1628	1588	1535	1022	1463	1349	1148
30	283		1162	1397	1240	1606	1581	1583	1603	1375	859	1190
31	900		1354		1521		1601	1575		1416		540
Total mensual	35 035	31 125	42 985	40 986	50 074	47 668	49 147	48 448	43 280	40 589	34 387	29 858

Ilustración 48 Producción diaria de hidrógeno para el caso seleccionado.

En el caso 1, la máxima masa que admite un tanque es de 479,66 kg. En el caso 2, de 585,54 kg. Dividiendo la masa producida diariamente entre el producto del número de tanques por la capacidad a las condiciones dadas, se obtiene el número de días que la combinación de tanques no puede cumplir el requisito de 1 recogida cada

24 h. Se obtiene lo siguiente:

CASO 1														
PRESIÓN: 30 bar - TEMPERATURA: 298,0 K														
DÍAS QUE LA CAPACIDAD NO ES SUFICIENTE														
Nº TANQUES	CAPACIDAD TOTAL (kg)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL DÍAS
2	959	23	21	28	24	31	29	31	31	28	26	23	21	316
3	1439	3	6	19	16	28	28	30	29	21	17	3	0	200
4	1919	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2398	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 25 Caso 1. Estudio del número de tanques y días en los que es necesario más de 1 retirada.

CASO 2														
PRESIÓN: 40 bar - TEMPERATURA: 323,9 K														
DÍAS QUE LA CAPACIDAD NO ES SUFICIENTE														
Nº TANQUES	CAPACIDAD TOTAL (kg)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL DÍAS
2	959	20	15	25	23	30	29	31	31	26	24	20	19	293
3	1439	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1919	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2398	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 26 Caso 2. Estudio del número de tanques y días en los que es necesario más de 1 retirada.

De los resultados obtenidos se pueden obtener las siguientes conclusiones.

Para las condiciones 1, el primer caso en el que se puede cumplir con una recogida cada 24 h almacenando todo el hidrógeno producido es colocar 4 tanques de 200 m<sup>3</sup> de capacidad.

Para las condiciones 2, el primer caso en el que se puede cumplir con una recogida cada 24 h almacenando todo el hidrógeno producido es colocar 3 tanques de 200 m<sup>3</sup> de capacidad.

Se podría plantear retiradas puntuales con una frecuencia menor de 24 horas si fueran casos esporádicos, pero como se puede observar esto no ocurre.

Para las condiciones 1, si se reduce el número de tanques de 4 a 3 en 200 de los 365 días habría que hacer más de una retirada cada 24 horas.

Para las condiciones 2, habría 293 días al año en los que se tendría que realizar más de una retirada al día si se reduce de 3 tanques a 2.

## 5.5 Decisión sobre almacenaje basada en rentabilidad económica

Tras el análisis de los posibles sistemas de almacenamiento, se han planteado dos soluciones:

	<i>Nº tanques</i>	<i>Compresor</i>	<i>Temperatura H<sub>2</sub></i>	<i>Presión H<sub>2</sub></i>
<b>Solución 1</b>	4 tanques 200 m <sup>3</sup>	No	298,0 K	30 bar
<b>Solución 2</b>	3 tanques 200 m <sup>3</sup>	Sí	323,9 K	40 bar

Tabla 27 Soluciones de almacenamiento a estudiar.

En este apartado se realizará el estudio económico para saber cuál de estas dos combinaciones es la más rentable.

Costos a considerar:

### •Solución 1

-Compra de 4 tanques de 200 m<sup>3</sup> para almacenamiento de hidrógeno.

### •Solución 2

-Compra de 3 tanques de 200 m<sup>3</sup> para almacenamiento de hidrógeno.

-Compra de compresor para aumentar la presión del gas de 30 a 40 bar.

-Gasto eléctrico asociado a la compresión.

Para estimar el coste de los tanques, al igual que se hizo con los electrolizadores, se tomará como referencia el portal [hyjack.tech](https://www.hyjack.tech). En su aplicación web basta con proporcionar la masa de hidrógeno que se quiere alojar y las presiones mínimas y máximas para que proporcione un precio estimado del depósito.

Para este estudio, como se ha comentado, se toma el tanque de almacenamiento modelo LH 200 V de la marca Lapesa, el cual puede almacenar hasta 720 kg de H<sub>2</sub> a 40 bar y 0 °C. Proporcionando estos datos, el portal nos ofrece lo siguiente:

**TECHNOLOGY**  
Standard compressed hydrogen storage system. Compressed hydrogen tank

**CAPACITY**  
Usefull Capacity  
720 kg H2

**VOLUME**  
Storage  
224,84 m3

**PRESSURE**  
Min: 1 bar (14.5 psi) | Max: 40 bar (580 psi)

**COSTING**  
Euro(€)  
Indicative Equipment Cost: 340 653 €  
Total cost low range: 510 980 € | Total cost high range: 681 306 €  
Fair estimate | View details

**CALCULATION PARAMETERS**  
Unitary Cost: 461,02 €/kg | Edit

*Ilustración 49 Estimación del coste de un tanque de almacenamiento. Fuente: [hyjack.tech](https://www.hyjack.tech).*

Por lo que se toma 340 000 euros como coste de referencia para el tanque LH 200 V.

El portal también ofrece estimación de coste para compresores. Basta con dar la presión de entrada y la de salida y la del flujo de hidrógeno (2100 Nm<sup>3</sup> a potencia nominal) para obtener una estimación del coste asociado a la compra del compresor. El resultado obtenido es el siguiente:

Ilustración 50 Estimación del coste de un compresor. Fuente: *hyjack.tech*.

Se toma un coste estimado para la compra del sistema de compresión de 320 000 euros.

Por lo tanto, el coste total asociado al sistema de almacenamiento (sin tener todavía en cuenta el coste asociado al consumo eléctrico del compresor) es:

	N tanques 200 m <sup>3</sup>	Coste tanques (€)	Compresor	Coste compresor (€)	Coste total (€)
<b>Solución 1</b>	4	1 360 000	NO	-	1 360 000
<b>Solución 2</b>	3	1 020 000	SÍ	320 000	1 340 000

Tabla 28 Coste estimado de cada solución.

Se obtiene un coste de equipos prácticamente idéntico para las dos soluciones. En la solución 2 se incluye un compresor, por lo que habría que añadirle el coste del consumo eléctrico más el mantenimiento del equipo. Dado que, sin añadir este coste, ambas soluciones tienen prácticamente el mismo precio y por simplicidad del diseño de la planta de producción de hidrógeno, se opta por la solución 1.

La solución elegida es aquella en la que se instalan 4 tanques de almacenamiento de hidrógeno gas de 200 m<sup>3</sup>. No se realizará compresión del hidrógeno, por lo que se almacenará a 30 bar y 25 °C. Se realizará una retirada diaria del gas y, como se mostró en el estudio del dimensionado del tanque, no hará falta realizar ninguna excepción de retirada con menos de 24 h de frecuencia.

### 5.6 Solución adoptada

Tras plantear la ingeniería básica y exponer las razones que han llevado a tomar cada una de las decisiones, se procede a presentar de forma conjunta la solución adoptada. En la siguiente tabla se presentan los principales datos de la instalación y los datos energéticos correspondientes al año 2023:

**PLANTA FOTOVOLTAICA**

<i>Potencia</i>	39,2	MW
<i>Producción energética (2023)</i>	70 539 806	kWh
<i>Energía demandada por la red (2023)</i>	62 521 780	kWh
<i>Energía suministrada a la red (2023)</i>	28 166 874	kWh
<i>Energía excedente (2023)</i>	42 372 932	kWh

**ELECTROLIZADOR**

<i>Modelo</i>	H-TEC 10 MW HCS	
<i>POTENCIA</i>	10	MW
<i>Unidades</i>	1	ud
<i>Coste unitario</i>	9 600 000	€
<i>Consumo energía <math>P_{nom}</math></i>	4,8	kWh / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
<i>Rango de potencia de trabajo</i>	20 - 100	% $P_{nom}$
<i>Rendimiento a <math>P_{nom}</math></i>	74	%
<i>Presión de salida</i>	15 - 30	bar
<i>Pureza H<sub>2</sub></i>	99,9	%
<i>Consumo agua</i>	16	kg/ kg H <sub>2</sub>
<i>Producción H<sub>2</sub></i>	493 583	kg/año
<i>Energía utilizada (2023)</i>	26 190 827	kWh

**ALMACENAMIENTO**

<i>Modelo</i>	Lapesa LH 200V	
<i>Unidades</i>	4	uds
<i>Volumen nominal</i>	200	m <sup>3</sup>
<i>Masa admisible H<sub>2</sub> *</i>	720	kg *(40 bar y 0 °C)
<i>Coste unitario</i>	340 000	€

**EXCEDENTES**

<i>Energía disponible para venta (2023)</i>	16 182 105	kWh
---	------------	-----

## 6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN

Tras el diseño de la planta de producción de hidrógeno para aprovechar el excedente de energía renovable de la planta fotovoltaica, se procede al estudio económico final donde se comparará el precio de venta del excedente de electricidad con el precio de venta del hidrógeno.

La pregunta sobre la que versa este apartado es: ¿a qué precio se debe vender el hidrógeno para que sea más rentable adoptar la solución de construir la planta antes que vender la energía excedente a red?

Para ello, primeramente se ha de conocer qué beneficios se obtendrían si se decide vender a red el excedente de producción de la planta fotovoltaica. Posteriormente, se calculará el precio al que vender el hidrógeno que haría rentable la operación.

El estudio de viabilidad se hace con a un plazo de 20 años. El motivo es que la vida útil de los electrolizadores PEM se puede considerar 60 000 h y en la planta diseñada, el electrolizador trabaja unas 3000 h anuales, por lo que da una vida de unos 20 años.

### 6.1 Venta electricidad a red

El primero de los casos a analizar es el de qué beneficios se obtendrían si en lugar de construir la planta, se opta por vender a la red toda la energía excedente de la planta. Esta se diseñó para cubrir la demanda energética anual de La Rinconada, pero no satisface la demanda de potencia, por lo que hay momentos en los que el pueblo demanda electricidad y no hay producción (la noche es un ejemplo) y otros momentos en los que la producción supere a la demanda.

En este proyecto se ha diseñado la ingeniería básica para aprovechar este excedente de energía en una planta de producción de hidrógeno. Ahora, la comparamos con el caso de vender energía a la red.

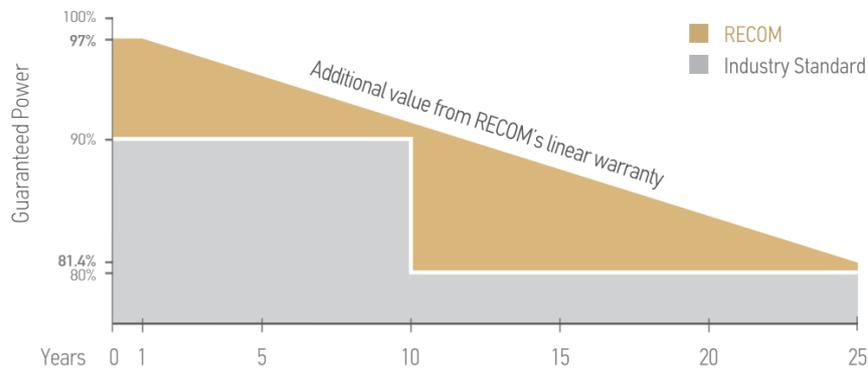
Estudiando el mercado energético, nos encontramos con que se puede fijar un precio de 0,05 €/kWh para vender el excedente de producción.

Los beneficios de la venta dependen únicamente en este modelo simplificado de la producción anual que se tiene como excedente.

Para el cálculo, se tendrá en cuenta que el rendimiento de la planta desciende con los años. Además, también se considerará que la demanda energética de La Rinconada aumentará un 1 % respecto a la del año anterior.

Para el rendimiento de la planta fotovoltaica se tendrá en cuenta la vida útil del módulo fotovoltaico. Esta planta se diseñó con el modelo Black Panther RCM-340-6MA de la marca Recom. El fabricante da la siguiente curva de rendimiento a lo largo de los años:

## Linear Performance Warranty



First Year Output |  $\geq 97\%$       2-24 Year Decline |  $\leq 0.65\%$       25 Year Output |  $\geq 81.4\%$

*Ilustración 51 Curva de rendimiento anual del módulo fotovoltaico Black Panther RCM-340-6MA.*

Por lo que el rendimiento del módulo el primer año es del 97 % y posteriormente decrece un 0,65 % después de cada año de vida<sup>1</sup>.

Esquemmatizando lo expuesto en este apartado, obtenemos los siguientes puntos a considerar:

- Aumento de la demanda energética de un 1 % anual.
- Descenso del rendimiento de la planta fotovoltaica de un 0,65 % anual.
- Precio venta electricidad: 0,05 €/kWh (año 2023).

Calculando los valores respecto a 2023, el cual es el primer año de funcionamiento de la planta, se obtienen los siguientes rendimientos para cada año de vida del proyecto:

<sup>1</sup> Para el cálculo del rendimiento de los módulos fotovoltaicos, se ha considerado que el 97 % del primero año equivale a 1 (100 %) y posteriormente se ha calculado el equivalente para cada año.

Año	Rendimiento módulo FV	Demanda energética anual
2023	100,0%	100,0%
2024	99,4%	101,0%
2025	98,7%	102,0%
2026	98,1%	103,0%
2027	97,4%	104,1%
2028	96,8%	105,1%
2029	96,2%	106,2%
2030	95,5%	107,2%
2031	94,9%	108,3%
2032	94,3%	109,4%
2033	93,7%	110,5%
2034	93,1%	111,6%
2035	92,5%	112,7%
2036	91,9%	113,8%
2037	91,3%	114,9%
2038	90,7%	116,1%
2039	90,1%	117,3%
2040	89,5%	118,4%
2041	88,9%	119,6%
2042	88,3%	120,8%

*Ilustración 52 Variación del rendimiento de la planta y la demanda energética anual.*

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la situación a 20 años vista de este proyecto es la siguiente:

Año	Energía demandada (kWh)	Energía producida (kWh)	Excedente energía tras cubrir demanda (kWh)
2023	62 521 780	70 539 806	42 372 932
2024	63 146 998	70 081 297	41 690 313
2025	63 778 468	69 625 769	41 009 830
2026	64 416 252	69 173 201	40 332 142
2027	65 060 415	68 723 575	39 656 718
2028	65 711 019	68 276 872	38 983 178
2029	66 368 129	67 833 073	38 311 320
2030	67 031 811	67 392 158	37 641 683
2031	67 702 129	66 954 109	36 975 385
2032	68 379 150	66 518 907	36 312 057
2033	69 062 942	66 086 534	35 651 376
2034	69 753 571	65 656 971	34 993 067
2035	70 451 107	65 230 201	34 337 355
2036	71 155 618	64 806 205	33 683 528
2037	71 867 174	64 384 964	33 031 927
2038	72 585 846	63 966 462	32 382 690
2039	73 311 704	63 550 680	31 735 188
2040	74 044 821	63 137 601	31 089 927
2041	74 785 269	62 727 206	30 447 399
2042	75 533 122	62 319 480	29 807 660

*Ilustración 53 Datos energéticos a lo largo de la vida del proyecto (20 años).*

Una vez obtenido toda la energía eléctrica excedente de la planta, la cual en este apartado se destina íntegramente a venta para obtener beneficio económico, se procede al cálculo de cuánto se puede obtener cada año en ventas por este concepto.

Para los cálculos, se considera una subida del índice de precios de consumo (IPC) del 1,75 %. por lo que el precio anual de venta de la electricidad, marcado en 2023 a 0,05 €/kWh, aumentará anualmente lo mismo que el IPC.

Año	Excedente energía tras cubrir demanda (kWh)	IPC (+ 1,75 % anual)	Venta todo el excedente eléctrico (€)
2023	42 372 932	1,000	2 118 647
2024	41 690 313	1,018	2 120 995
2025	41 009 830	1,035	2 122 887
2026	40 332 142	1,053	2 124 343
2027	39 656 718	1,072	2 125 321
2028	38 983 178	1,091	2 125 785
2029	38 311 320	1,110	2 125 708
2030	37 641 683	1,129	2 125 103
2031	36 975 385	1,149	2 124 017
2032	36 312 057	1,169	2 122 416
2033	35 651 376	1,189	2 120 267
2034	34 993 067	1,210	2 117 535
2035	34 337 355	1,231	2 114 218
2036	33 683 528	1,253	2 110 255
2037	33 031 927	1,275	2 105 648
2038	32 382 690	1,297	2 100 386
2039	31 735 188	1,320	2 094 410
2040	31 089 927	1,343	2 087 732
2041	30 447 399	1,367	2 080 366
2042	29 807 660	1,390	2 072 296
<b>TOTAL (€)</b>			<b>42 238 335</b>

*Ilustración 54 Ingresos por venta de la energía a lo largo de la vida del proyecto (20 años).*

Por lo que, durante los 20 años de vida del proyecto, se pueden obtener 42,2 millones de euros procedentes de vender el excedente eléctrico de la planta fotovoltaica.

## 6.2 Ejecución del proyecto de la planta de hidrógeno

La segunda alternativa es ejecutar el proyecto de la planta de producción de hidrógeno. En estos cálculos se van a tener en cuenta el coste de compra de los equipos principales (electrolizador y tanques de almacenamiento) y los beneficios que se obtendrán de la planta. No se han considerado los gastos de construcción y explotación.

En primer lugar, los costes de compra de equipos son los siguientes:

- Electrolizador 10 MW: 9,6 millones de euros.
- 4 tanques de almacenamiento de hidrógeno: 1,36 millones de euros.

Para el cálculo de la producción anual de hidrógeno, se tienen en cuenta los factores que afectan a la cantidad anual del excedente fotovoltaico ya planteados en el punto anterior:

- Aumento demanda anual de energía: 1 %.

·Pérdida rendimiento anual módulo fotovoltaico: 0,65 %

Al que hay que añadirle una caída del rendimiento del electrolizador. Siguiendo una estimación de la vida útil de los electrolizadores de la comisión europea se considera la estimación de que un electrolizador PEM pierde un 0,2 % de rendimiento cada 1000 h [4]. Como en este estudio el electrolizador trabaja unas 3000 h anuales, se considera una caída anual del rendimiento del 0,6 %.

Se realiza el cálculo con una vida de 20 años teniendo en cuenta la energía disponible para producir hidrógeno, la cual ya se ha expuesto en el apartado anterior. Los cálculos realizados son los mismos que los expuestos en la ingeniería básica del proyecto, pero teniendo en cuenta los factores que afectan anualmente.

Año	Energía demandada (kWh)	Energía producida (kWh)	Excedente energía tras cubrir demanda (kWh)	Energía aprovechable para producir H2 (kWh)	Energía disponible para venta (kWh)	Horas trabajo electrolizador (h)	Producción H2 (kg)
2023	62 521 780	70 539 806	42 372 932	26 190 827	16 182 105	2926	493 583
2024	63 146 998	70 081 297	41 690 313	26 030 604	15 659 709	2917	487 682
2025	63 778 468	69 625 769	41 009 830	25 837 879	15 171 952	2893	481 145
2026	64 416 252	69 173 201	40 332 142	25 661 563	14 670 579	2878	475 006
2027	65 060 415	68 723 575	39 656 718	25 475 658	14 181 060	2859	468 730
2028	65 711 019	68 276 872	38 983 178	25 296 069	13 687 109	2844	462 625
2029	66 368 129	67 833 073	38 311 320	25 116 223	13 195 096	2830	456 565
2030	67 031 811	67 392 158	37 641 683	24 941 062	12 700 621	2820	450 645
2031	67 702 129	66 954 109	36 975 385	24 761 757	12 213 628	2810	444 691
2032	68 379 150	66 518 907	36 312 057	24 580 063	11 731 994	2800	438 727
2033	69 062 942	66 086 534	35 651 376	24 392 761	11 258 615	2789	432 714
2034	69 753 571	65 656 971	34 993 067	24 205 421	10 787 646	2780	426 743
2035	70 451 107	65 230 201	34 337 355	24 013 104	10 324 251	2771	420 734
2036	71 155 618	64 806 205	33 683 528	23 815 878	9 867 650	2762	414 694
2037	71 867 174	64 384 964	33 031 927	23 612 317	9 419 610	2752	408 539
2038	72 585 846	63 966 462	32 382 690	23 410 023	8 972 668	2745	402 510
2039	73 311 704	63 550 680	31 735 188	23 172 436	8 562 751	2723	395 862
2040	74 044 821	63 137 601	31 089 927	22 950 317	8 139 611	2711	389 602
2041	74 785 269	62 727 206	30 447 399	22 717 669	7 729 730	2697	383 143
2042	75 533 122	62 319 480	29 807 660	22 465 508	7 342 152	2675	376 395

Ilustración 55 Principales datos energéticos y de producción de hidrógeno durante los 20 años de vida del proyecto.

Sabiendo la producción anual de hidrógeno, más la energía restante que queda para venta por no poder emplearse en el electrolizador, solo resta conocer el precio de venta al que se debe vender el hidrógeno para que ejecutar la planta sea más rentable que vender todo el excedente de fotovoltaica tras cubrir demanda.

Para ello, se hará un cálculo económico de la vida del proyecto (20 años), el cual se presenta en el siguiente apartado.

### 6.3 Viabilidad económica del proceso de inversión

Para conocer la viabilidad económica del proceso se calcula el Valor Actual Neto (VAN) de cada una de las dos propuestas a considerar. En el caso en el que se vende todo el excedente, el valor que se obtiene es directo fijando el precio de la venta de la energía excedente. En el caso de la ejecución de la planta de hidrógeno, el VAN obtenido dependerá del precio al que se venda el gas.

Para el cálculo del VAN solo se tiene en cuenta lo expuesto en este proyecto. Se omiten conceptos que serían iguales para ambos casos como es la amortización de la planta fotovoltaica, ya que estos no tienen afectación a la inversión que se está planteando realizar.

Llegados a este punto, es importante destacar que hay una serie de gastos importantes que no se han tenido en cuenta para el cálculo de la planta de hidrógeno. Solo se considera el gasto de la compra de los equipos principales, dejando sin consideración cuantías importantes como son los costes de construcción, explotación y

mantenimiento de la planta. Obviamente, si se consideran, el precio del hidrógeno aumentaría de forma notoria, pero estos se escapan del alcance tomado para este proyecto.

Los aspectos genéricos considerados han sido los siguientes:

- Tasa de inflación: 1,75 % anual.
- Precio venta energía excedente año 2023: 0,05 €/kWh
- Coste del capital (k) para cálculo del VAN: 3 %.
- Impuesto de sociedades: 30 %.
- Amortización: modelo lineal.

Para el caso de vender la totalidad de la energía eléctrica excedente, las tablas de “Pérdidas y ganancias” y “Cash Flow” son las siguientes:

Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Inflación	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Inflación acumulada	1,000	1,018	1,035	1,053	1,072	1,091	1,110	1,129	1,149	1,169

PÉRDIDAS Y GANANCIAS										
Ingresos de explotación	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416
Gastos de explotación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416
Amortizaciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBIT	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416
Beneficios antes impuestos	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416
Impuesto sociedades (30 %)	635 594	636 298	636 866	637 303	637 596	637 735	637 712	637 531	637 205	636 725
Resultado neto	1 483 053	1 484 696	1 486 021	1 487 040	1 487 724	1 488 049	1 487 996	1 487 572	1 486 812	1 485 692

CASH FLOW										
EBITDA	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF Previo impuestos	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416
Impuestos	635 594	636 298	636 866	637 303	637 596	637 735	637 712	637 531	637 205	636 725
CF proyecto	1 483 053	1 484 696	1 486 021	1 487 040	1 487 724	1 488 049	1 487 996	1 487 572	1 486 812	1 485 692

Año	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Inflación	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Inflación acumulada	1,189	1,210	1,231	1,253	1,275	1,297	1,320	1,343	1,367	1,390

PÉRDIDAS Y GANANCIAS										
Ingresos de explotación	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Gastos de explotación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Amortizaciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBIT	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Beneficios antes impuestos	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Impuesto sociedades (30 %)	636 080	635 261	634 266	633 077	631 694	630 116	628 323	626 320	624 110	621 689
Resultado neto	1 484 187	1 482 275	1 479 953	1 477 179	1 473 954	1 470 270	1 466 087	1 461 413	1 456 256	1 450 607

CASH FLOW										
EBITDA	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF Previo impuestos	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Impuestos	636 080	635 261	634 266	633 077	631 694	630 116	628 323	626 320	624 110	621 689
CF proyecto	1 484 187	1 482 275	1 479 953	1 477 179	1 473 954	1 470 270	1 466 087	1 461 413	1 456 256	1 450 607

Ilustración 56 Tabla de Pérdidas y Ganancias y Cash Flow para el caso de vender todo el excedente de energía.

Para el cálculo del VAN se procede con la siguiente ecuación:

$$Valor Actual Neto (VAN) = C_0 + \sum_{i=1}^{19} \frac{C_i}{(1+k)^i}$$

Donde:

- C<sub>0</sub> se corresponde con el Cash Flow de 2023 (primer año del proyecto).
- C<sub>i</sub> se corresponde con los sucesivos años del proyecto (C<sub>1</sub> corresponde a 2024, C<sub>2</sub> a 2025, ...).
- i es el contador de los años del proyecto. El primer año (2023) se corresponde con el 0.
- k es el coste del capital, el cual se estima como un 3 % según valores económicos del año 2023.

Por lo que se obtiene un VAN de 22 677 288 € para el caso de vender toda la energía excedente.

Para que acometer la inversión en la planta de hidrógeno sea económicamente interesante, el VAN que se obtenga debe ser mayor al obtenido para vender todo el excedente. El único factor que queda variable es el precio de venta del hidrógeno. A mayor precio de venta, mayor beneficio.

Tras realizar el estudio sobre el precio, se obtiene que para que sea interesante desde el punto de vista económico acometer la inversión en la planta, el precio de venta del hidrógeno debe ser superior a 4,35 €/kg.

PRECIO VENTA HIDRÓGENO	4,35 €/kg									
AÑO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Inflación	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Inflación acumulada	1,000	1,018	1,035	1,053	1,072	1,091	1,110	1,129	1,149	1,169
<b>PÉRDIDAS Y GANANCIAS</b>										
Ingresos de explotación										
Venta H2	2 147 087	2 158 544	2 166 875	2 176 665	2 185 495	2 194 776	2 203 935	2 213 424	2 222 405	2 230 968
Venta electricidad	809 105	796 688	785 381	772 717	760 005	746 369	732 131	717 028	701 601	685 728
Gastos de explotación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA	2 956 192	2 955 231	2 952 256	2 949 382	2 945 499	2 941 145	2 936 066	2 930 452	2 924 006	2 916 695
Amortizaciones	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000
EBIT	2 408 192	2 407 231	2 404 256	2 401 382	2 397 499	2 393 145	2 388 066	2 382 452	2 376 006	2 368 695
Beneficios antes impuestos	2 408 192	2 407 231	2 404 256	2 401 382	2 397 499	2 393 145	2 388 066	2 382 452	2 376 006	2 368 695
Impuesto sociedades (30 %)	722 458	722 169	721 277	720 415	719 250	717 943	716 420	714 736	712 802	710 609
Resultado neto	1 685 735	1 685 062	1 682 979	1 680 967	1 678 250	1 675 201	1 671 646	1 667 716	1 663 204	1 658 087
<b>CASH FLOW</b>										
EBITDA	2 956 192	2 955 231	2 952 256	2 949 382	2 945 499	2 941 145	2 936 066	2 930 452	2 924 006	2 916 695
Inversiones	10 960 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF Previo impuestos	- 8 003 808	2 955 231	2 952 256	2 949 382	2 945 499	2 941 145	2 936 066	2 930 452	2 924 006	2 916 695
Impuestos	722 458	722 169	721 277	720 415	719 250	717 943	716 420	714 736	712 802	710 609
CF proyecto	- 8 726 265	2 233 062	2 230 979	2 228 967	2 226 250	2 223 201	2 219 646	2 215 716	2 211 204	2 206 087
AÑO	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Inflación	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Inflación acumulada	1,189	1,210	1,231	1,253	1,275	1,297	1,320	1,343	1,367	1,390
<b>PÉRDIDAS Y GANANCIAS</b>										
Ingresos de explotación										
Venta H2	2 238 900	2 246 645	2 253 771	2 260 291	2 265 710	2 271 341	2 277 919	2 276 120	2 277 559	2 276 604
Venta electricidad	669 575	652 793	635 684	618 203	600 461	581 980	565 111	546 586	528 146	510 443
Gastos de explotación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA	2 908 475	2 899 438	2 889 455	2 878 494	2 866 171	2 853 321	2 838 030	2 822 707	2 805 704	2 787 047
Amortizaciones	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000
EBIT	2 360 475	2 351 438	2 341 455	2 330 494	2 318 171	2 305 321	2 290 030	2 274 707	2 257 704	2 239 047
Beneficios antes impuestos	2 360 475	2 351 438	2 341 455	2 330 494	2 318 171	2 305 321	2 290 030	2 274 707	2 257 704	2 239 047
Impuesto sociedades (30 %)	708 143	705 431	702 437	699 148	695 451	691 596	687 009	682 412	677 311	671 714
Resultado neto	1 652 333	1 646 006	1 639 019	1 631 346	1 622 719	1 613 725	1 603 021	1 592 295	1 580 393	1 567 333
<b>CASH FLOW</b>										
EBITDA	2 908 475	2 899 438	2 889 455	2 878 494	2 866 171	2 853 321	2 838 030	2 822 707	2 805 704	2 787 047
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF Previo impuestos	2 908 475	2 899 438	2 889 455	2 878 494	2 866 171	2 853 321	2 838 030	2 822 707	2 805 704	2 787 047
Impuestos	708 143	705 431	702 437	699 148	695 451	691 596	687 009	682 412	677 311	671 714
CF proyecto	2 200 333	2 194 006	2 187 019	2 179 346	2 170 719	2 161 725	2 151 021	2 140 295	2 128 393	2 115 333

Ilustración 57 Tabla de Pérdidas y Ganancias y Cash Flow para el caso de ejecutar la planta de hidrógeno.

El VAN que se obtiene con un precio de venta del hidrógeno de 4,5 €/kg es de 22 731 812 €, ligeramente superior a los 22 677 288 € que se obtendrían de dedicar todo el excedente a venta.

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) que da este proyecto es de 21,4 %. Es muy superior al 3 % marcado como coste de capital, por lo que indica que la inversión es rentable.

# 7 CONCLUSIONES

---

Tras exponer la ingeniería básica de la planta de producción de hidrógeno y realizar el posterior análisis económico para conocer a qué precio se debe vender el hidrógeno, se procede a realizar algunas conclusiones como cierre de este trabajo.

En primer lugar, abordar el tema del gran interés que tiene en la actualidad este tipo de proyectos de cara a reducir la huella de carbono en el planeta. Acometer una planta de hidrógeno como sistema de almacenamiento de energía se plantea como una gran opción a implantar dentro de los diferentes y variados sistemas que se usan y se usarán para la generación, distribución y utilización de la energía.

La política energética de la Unión Europea camina hacia energías con cero emisiones netas de carbono. El hidrógeno tiene previsto un papel importante tanto como combustible como almacenador de energía en esta descarbonización. La hibridación de tecnologías como fotovoltaica y eólica con una planta de producción de hidrógeno supondrán un gran paso en el intento por dejar de lado la generación con fuentes de energía provenientes de combustibles fósiles.

Bien es cierto, y como ya se ha comentado en este trabajo, el hidrógeno es un elemento que se usa en grandísima medida en la actualidad. Es fundamental en la industria del refino y en la fabricación de productos químicos y en la metalurgia. Solo en España, se consumen actualmente más de 500 000 toneladas anuales. [1] La primera tarea que abordar debe ser la descarbonización de los procesos mediante los cuales se obtiene hidrógeno para estos cometidos.

Como casi la totalidad de lo que rige la actividad profesional en nuestro mundo, acometer proyectos innovadores está supeditado a la rentabilidad económica. En la actualidad, la obtención de hidrógeno mediante fuentes renovables no es todo lo competitiva que se desearía si se compara con la obtención mediante combustibles fósiles. Según la Comisión Europea en julio de 2020, el coste de producción de hidrógeno gris ronda los 1,5 €/kg. Si se realiza captura de CO<sub>2</sub> (hidrógeno azul), subiría hasta los 2 €/kg. En lo referido al hidrógeno verde, lo cifra entre 2,5 y 5,5 €/kg [5]. En este proyecto se ha obtenido un precio de 4,5 €/kg para que sea más rentable producir hidrógeno que vender la energía a red. Este precio se ha obtenido obviando costes importantes como son la construcción y el mantenimiento.

Si se hace el cálculo sin comparar con el precio de venta de electricidad a red (el cual se marcó a 0,05 €/kWh más la correspondiente subida del IPC), se puede obtener qué precio de venta del hidrógeno haría que la ejecución de la planta fuera rentable. Se presenta a continuación el cálculo económico de este planteamiento.

Se ha tomado el modelo de planta diseñado donde se produce hidrógeno y se vende el excedente a red. Se ha obviado el beneficio de venta a la red, ya que solo se ha querido estudiar la viabilidad de la planta de forma completamente independiente. Tomando todos los demás supuestos de la misma manera que en los expuestos durante el proyecto (gastos de explotación nulos, coste de inversión y ejecución solamente la compra de electrolizador y tanques de almacenamiento), se obtiene que la inversión sería interesante de acometer con un precio de venta del hidrógeno a partir de 1,55 €/kg. El criterio que se ha tomado es que la tasa interna de rentabilidad sea mayor que el coste del capital, la cual se fijó en un 3%.

PRECIO VENTA HIDRÓGENO	1,55 €/kg									
AÑO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Inflación	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Inflación acumulada	1,000	1,018	1,035	1,053	1,072	1,091	1,110	1,129	1,149	1,169
<b>PÉRDIDAS Y GANANCIAS</b>										
Ingresos de explotación										
Venta H2	1 036 525	1 042 056	1 046 078	1 050 804	1 055 066	1 059 547	1 063 968	1 068 550	1 072 885	1 077 019
Gastos de explotación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA	1 036 525	1 042 056	1 046 078	1 050 804	1 055 066	1 059 547	1 063 968	1 068 550	1 072 885	1 077 019
Amortizaciones	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000
EBIT	488 525	494 056	498 078	502 804	507 066	511 547	515 968	520 550	524 885	529 019
Beneficios antes impuestos	488 525	494 056	498 078	502 804	507 066	511 547	515 968	520 550	524 885	529 019
Impuesto sociedades (30 %)	146 557	148 217	149 423	150 841	152 120	153 464	154 791	156 165	157 466	158 706
Resultado neto	341 967	345 839	348 654	351 963	354 946	358 083	361 178	364 385	367 420	370 313
<b>CASH FLOW</b>										
EBITDA	1 036 525	1 042 056	1 046 078	1 050 804	1 055 066	1 059 547	1 063 968	1 068 550	1 072 885	1 077 019
Inversiones	10 960 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF Previo impuestos	- 9 923 475	1 042 056	1 046 078	1 050 804	1 055 066	1 059 547	1 063 968	1 068 550	1 072 885	1 077 019
Impuestos	146 557	148 217	149 423	150 841	152 120	153 464	154 791	156 165	157 466	158 706
CF proyecto	- 10 070 033	893 839	896 654	899 963	902 946	906 083	909 178	912 385	915 420	918 313
AÑO	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Inflación	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Inflación acumulada	1,189	1,210	1,231	1,253	1,275	1,297	1,320	1,343	1,367	1,390
<b>PÉRDIDAS Y GANANCIAS</b>										
Ingresos de explotación										
Venta H2	1 080 848	1 084 587	1 088 027	1 091 175	1 093 791	1 096 509	1 097 271	1 098 817	1 099 511	1 099 050
Gastos de explotación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA	1 080 848	1 084 587	1 088 027	1 091 175	1 093 791	1 096 509	1 097 271	1 098 817	1 099 511	1 099 050
Amortizaciones	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000
EBIT	532 848	536 587	540 027	543 175	545 791	548 509	549 271	550 817	551 511	551 050
Beneficios antes impuestos	532 848	536 587	540 027	543 175	545 791	548 509	549 271	550 817	551 511	551 050
Impuesto sociedades (30 %)	159 855	160 976	162 008	162 953	163 737	164 553	164 781	165 245	165 453	165 315
Resultado neto	372 994	375 611	378 019	380 223	382 054	383 957	384 490	385 572	386 058	385 735
<b>CASH FLOW</b>										
EBITDA	1 080 848	1 084 587	1 088 027	1 091 175	1 093 791	1 096 509	1 097 271	1 098 817	1 099 511	1 099 050
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF Previo impuestos	1 080 848	1 084 587	1 088 027	1 091 175	1 093 791	1 096 509	1 097 271	1 098 817	1 099 511	1 099 050
Impuestos	159 855	160 976	162 008	162 953	163 737	164 553	164 781	165 245	165 453	165 315
CF proyecto	920 994	923 611	926 019	928 223	930 054	931 957	932 490	933 572	934 058	933 735
Coste del capital	3,00%									
TIR	3,07%									
VAN (€)	3 054 375									

Tabla 29 Cálculo rentabilidad planta de producción de hidrógeno.

Este precio hace que la planta sea mucho más competitiva de cara al mercado de la venta de hidrógeno, pero no hay que perder la perspectiva de que a este coste, vender el excedente de energía sería muchísimo más rentable. Si se consideran también los beneficios de vender el excedente de energía eléctrica en el modelo en el que se ejecuta la planta de hidrógeno, el VAN obtenido a un precio de venta del hidrógeno de 1,55 €/kg sería de 7 409 955 €, muy lejanos de los 22 677 288 € que se obtiene si se dedica todo el excedente eléctrico a venta.

Llegados a este punto, la pregunta que se plantea es: ¿en qué medida debe primar la viabilidad de apostar por un sistema que posibilite la descarbonización del sector energético frente a la rentabilidad puramente económica de un proyecto renovable?

Queda claro que lo más rentable para esta planta sería vender la totalidad del excedente eléctrico si se considera 4,5 €/kg de hidrógeno un precio elevado. Pero si se actúa de este modo, no se generan soluciones que permitan la viabilidad energética de un modelo renovable. Se necesitan de sistemas que permitan a la sociedad disponer de la energía cuando las renovables no puedan abastecer la demanda. El ejemplo más claro es el de una planta fotovoltaica durante la noche. Esta planta no puede abastecer la demanda en estas horas ya que no está produciendo y no es capaz de almacenar energía por sí misma.

Por ello, lo que verdaderamente debe marcar la viabilidad de un proyecto de esta envergadura, si de verdad se quiere apostar por un sistema de generación de fuentes renovables, es tanto la viabilidad económica como la solución aportada al problema de la demanda de potencia en cada momento del día.

Seguramente el hidrógeno no monopolice el sector del almacenamiento y quizás tampoco sea usado como uno de los principales combustibles para industria y transporte. Es posible que el desarrollo de combustibles sintéticos, el biogás u otras vías como la movilidad eléctrica le ganen la partida. Donde radica la cuestión es que aquí no debe ganar un tipo de energía, debe ganar el sistema de generación en su conjunto. En él, el hidrógeno está llamado a ser un importante vector energético que permita el paso de la generación de energía mediante combustibles fósiles a un modelo que pueda alcanzar cero emisiones netas de carbono.

Abordando otro punto del trabajo, se considera apropiado comentar que en este proyecto se ha realizado la ingeniería básica para obtener una estimación económica del precio de venta de hidrógeno que haría rentable la ejecución de la planta. Para el diseño, ha habido algunos factores de peso que no se han tenido en consideración y que se consideran que, al menos, es necesario nombrarlos porque son importantes a la hora de diseñar y ejecutar un proyecto de este tipo.

Hay algunos costes de gran calado que no se han tomado en cuenta. Ellos son:

- Diseño del proyecto y mano de obra.
- Costes derivados de la construcción de la planta.
- Costes de mantenimiento de la planta durante los 20 años de vida.

El considerar estos costes haría que el precio del hidrógeno aumentara, haciendo la planta menos competitiva. Obviamente, de cara a un diseño completo, estas partidas económicas deben tenerse en cuenta.

Por último, comentar que la planta diseñada en este proyecto va a ser de gran interés en los próximos años. Será verdaderamente importante, e incluso crucial, no perder nunca el enfoque de a lo que está llamado el hidrógeno. La producción de este elemento busca la descarbonización del sistema energético. Ni se puede apostar todo a este mecanismo casi sin tener una buena perspectiva de qué se va a hacer con la inversión, ya sea pública o privada, ni tampoco se puede desechar por encontrarle pegos a una tecnología que todavía necesita maduración para alcanzar niveles óptimos desde el punto de vista energético y económico.

## 8 ANEXOS

---

**Anexo A: Planta fotovoltaica**

**Anexo B: Producción diaria planta fotovoltaica**

**Anexo C: Catálogo Electrolizadores H-TEC**

**Anexo D: Combinaciones de electrolizadores**

**Anexo E: Producción enero 2024**

**Anexo F: Catálogo de tanques de almacenamiento Lapesa**

**Anexo G: Análisis económico**

# ANEXO A: PLANTA FOTOVOLTAICA

---

En este anexo se incluyen las características del parque fotovoltaico que se usa como base para la obtención de la energía eléctrica que se dedicará a la producción de hidrógeno.

Información general		
Proyecto	Planta FV La Rinconada	
Localización	La Rinconada, Sevilla (Andalucía, España)	
Potencia total (Entrada inversor CC / Salida inversor CA) [MW]*	@ Condiciones STC / factor de potencia = 1	39,168 MWp (CC) 33,672 MWca (CA)
CC/AC ratio (Wp/Wac) [%]*	@ Condiciones STC / factor de potencia = 1	116,32%
Coordenadas	Latitud: 37.460775 Longitud: -5.891104	
Área de la instalación [ha]	81	

Centro de transformación (CT)		
Potencia por CT [MVA]	@ 25°C	5,612
Número de inversores por CT	4	
Número total de CT en la planta	6	

Módulo fotovoltaico		
Fabricante	Recom	
Modelo	RCM-340-6MA	
Potencia [Wp]	340	
Número total de módulos en la planta	115 200	

String		
Módulos en serie por string	30	
Número de strings por string box	20	
Número de strings por CT	640	
Número total de string en la planta	3.840	

String Box (SB)		
Fabricante	Ingeteam	
Modelo	StringBox M 20B	
Número de entradas por SB	20	
Número de SB por CT	32	
Número total de SB en la planta	192 de 20 entradas	

Tracker		
Fabricante	Axial	
Modelo	Axial Tracker	
Suministro de potencia	Autoconsumo / Consumo de red	
Comunicación	Por cable	
Disposición de módulos en cada tracker	3x20	
Configuración del modulo (vertical / horizontal)	Horizontal	
	0°	
Tilt of modules [°]	±55° E/O	
Pendiente de la tierra	Considerada como plana	
Longitud total de la estructura [m]	39,45	
Ancho total de la estructura [m]	3,00	
Número de tracker por CT	320	
Número total de trackers en la planta	1.920	

Inversor		
Fabricante	Ingeteam	
Modelo	Ingecon Sun 1560TL B600	
Número de inversores por CT	4	
Número total de inversores en la planta	16	
Número de inversores / trackers (strings)	1 inversor / 20 tracker (160 strings)	

\*NOTA: Potencia medida en los terminales del inversor

# ANEXO B: PRODUCCIÓN DIARIA PLANTA FOTOVOLTAICA

---

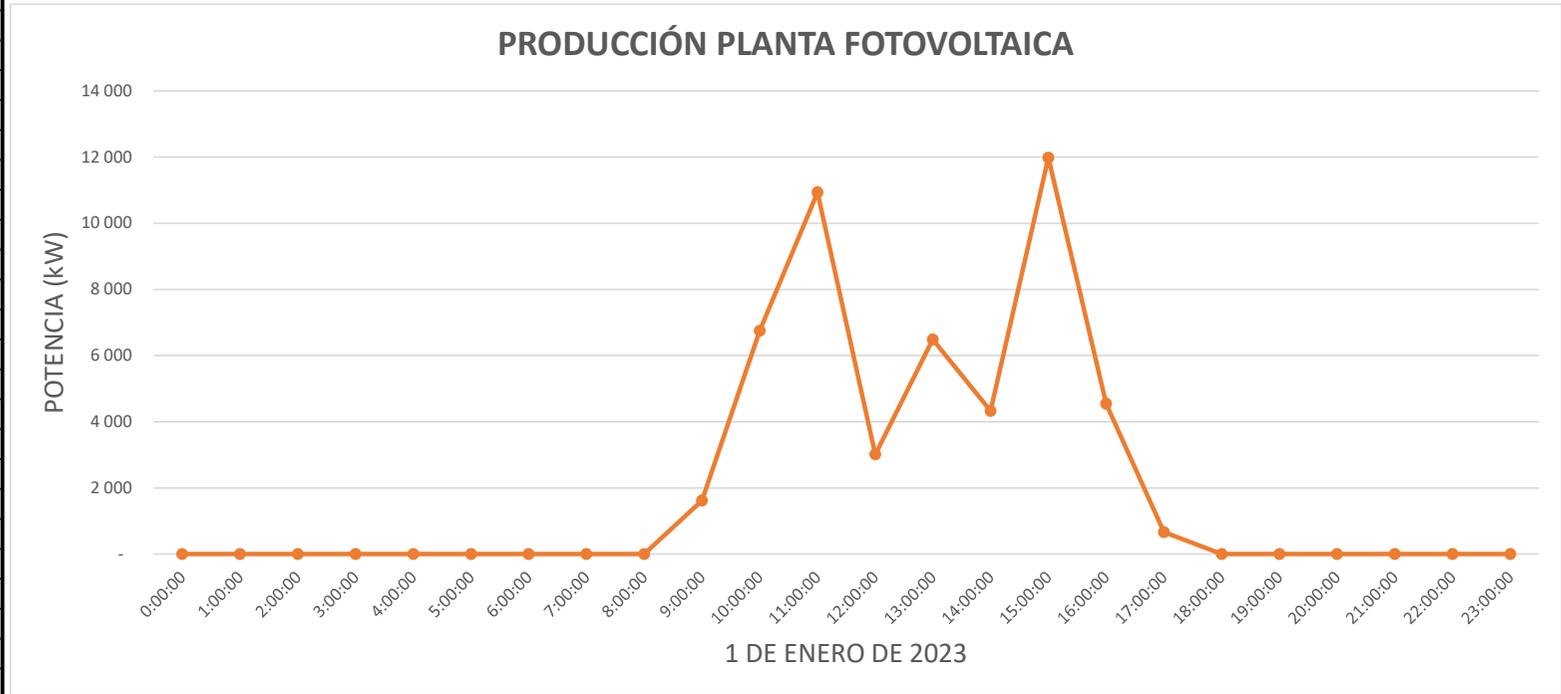
En este anexo se presenta la producción diaria de la planta fotovoltaica. Debido al gran volumen de datos, se presenta la gráfica de producción del primer día de cada mes.

Datos de producción:

- 1 de enero de 2023.
- 1 de febrero de 2023.
- 1 de marzo de 2023.
- 1 de abril de 2023.
- 1 de mayo de 2023.
- 1 de junio de 2023.
- 1 de julio de 2023.
- 1 de agosto de 2023.
- 1 de septiembre de 2023.
- 1 de octubre de 2023.
- 1 de noviembre de 2023.
- 1 de diciembre de 2023.

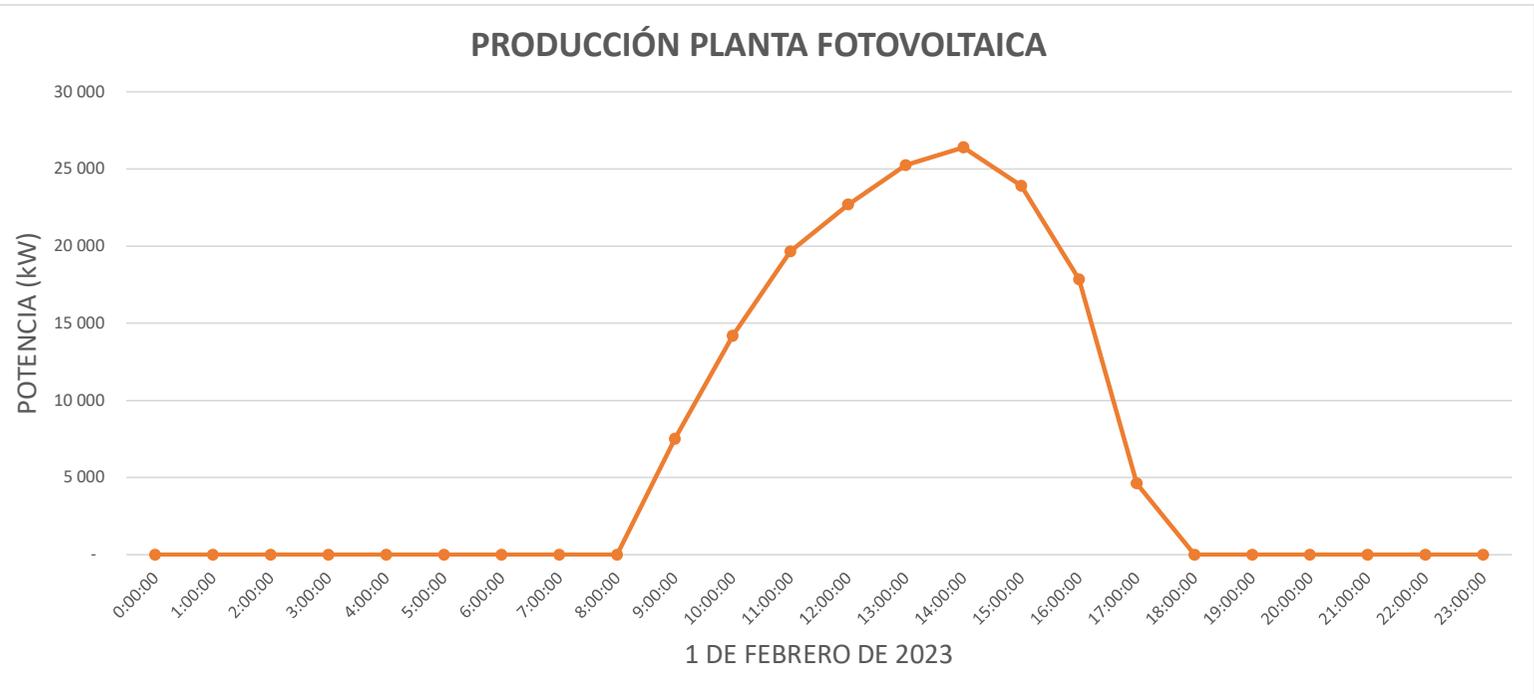
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

ENERO	
DÍA 01/01/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	-
8:00:00	-
9:00:00	1 617
10:00:00	6 749
11:00:00	10 931
12:00:00	3 006
13:00:00	6 486
14:00:00	4 328
15:00:00	11 981
16:00:00	4 541
17:00:00	655
18:00:00	-
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



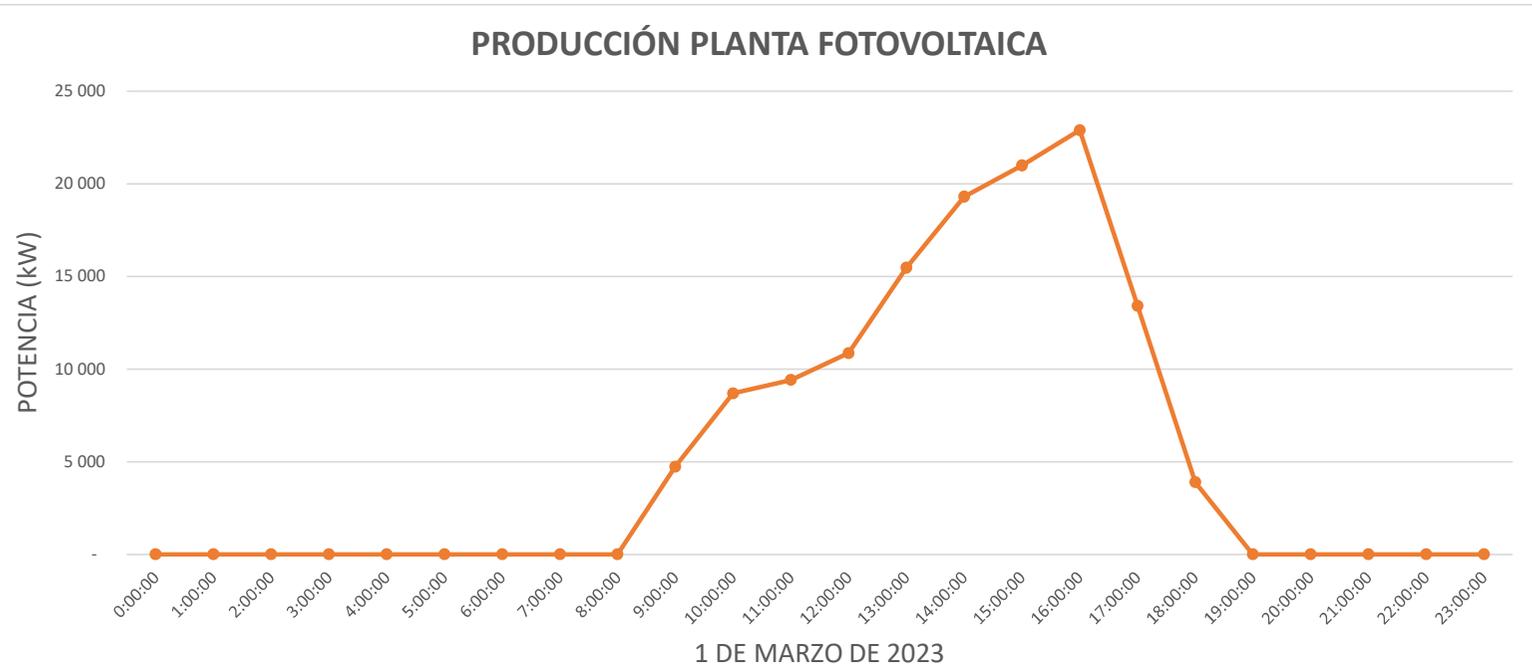
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

FEBRERO	
DÍA 01/02/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	-
8:00:00	-
9:00:00	7 515
10:00:00	14 185
11:00:00	19 652
12:00:00	22 693
13:00:00	25 233
14:00:00	26 391
15:00:00	23 903
16:00:00	17 835
17:00:00	4 626
18:00:00	-
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



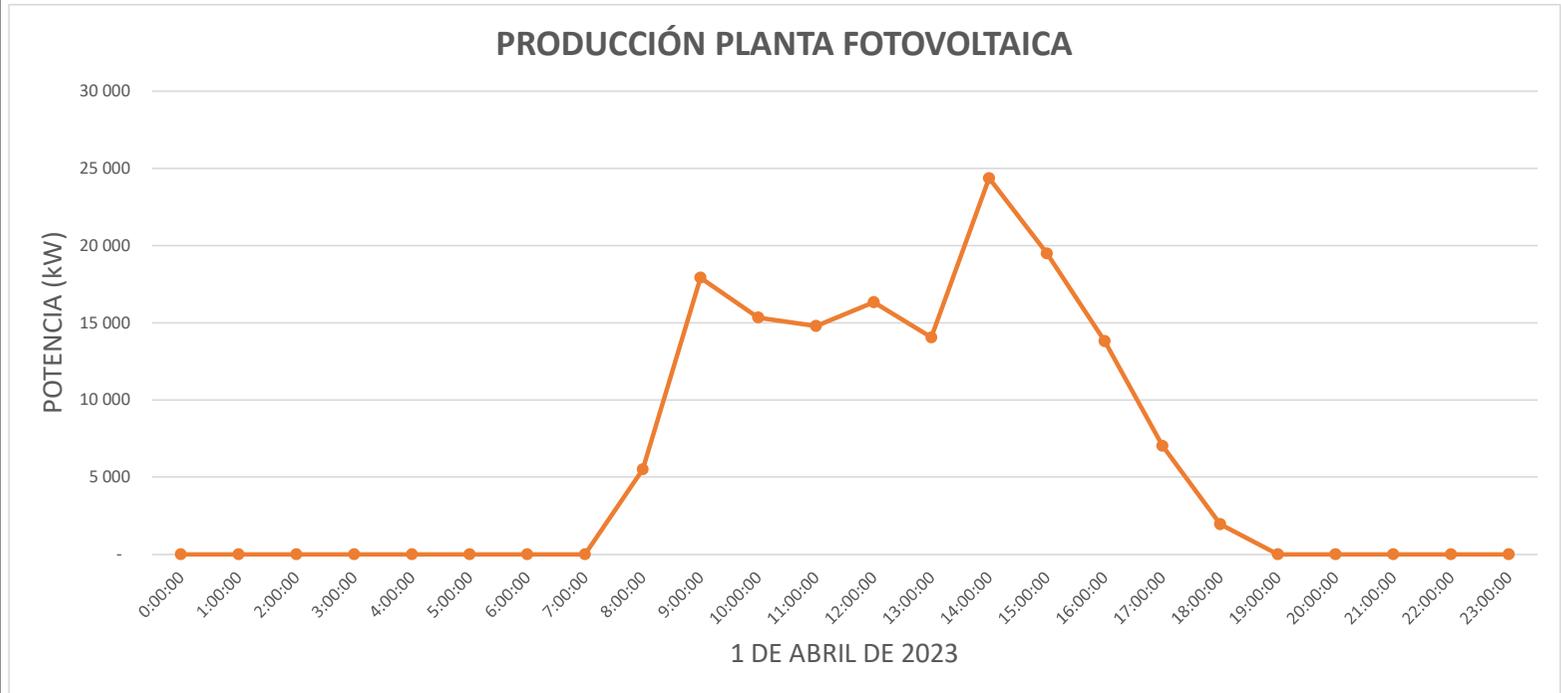
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

MARZO	
DÍA 01/03/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	-
8:00:00	-
9:00:00	4 735
10:00:00	8 689
11:00:00	9 415
12:00:00	10 857
13:00:00	15 464
14:00:00	19 306
15:00:00	20 990
16:00:00	22 896
17:00:00	13 406
18:00:00	3 892
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



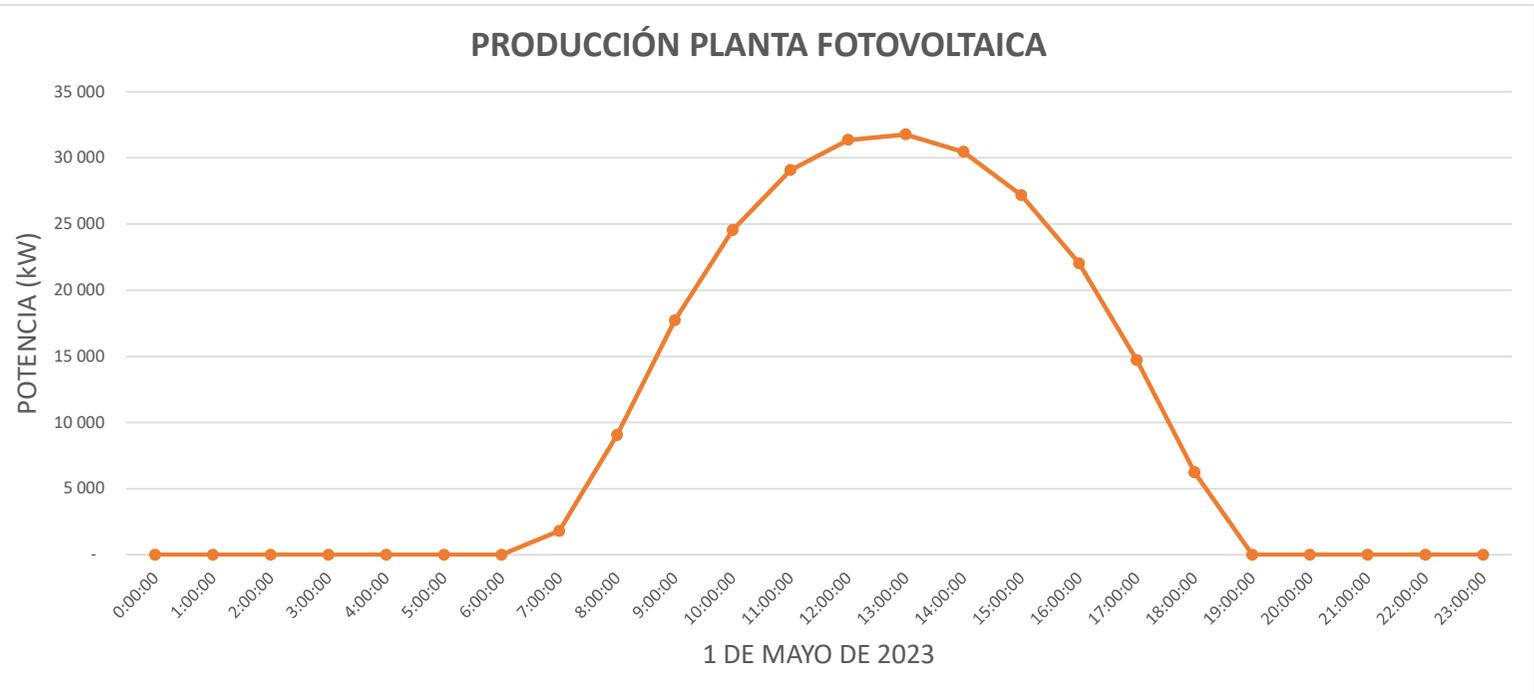
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

ABRIL	
DÍA 01/04/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	-
8:00:00	5 509
9:00:00	17 914
10:00:00	15 338
11:00:00	14 793
12:00:00	16 334
13:00:00	14 048
14:00:00	24 376
15:00:00	19 488
16:00:00	13 820
17:00:00	7 025
18:00:00	1 954
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



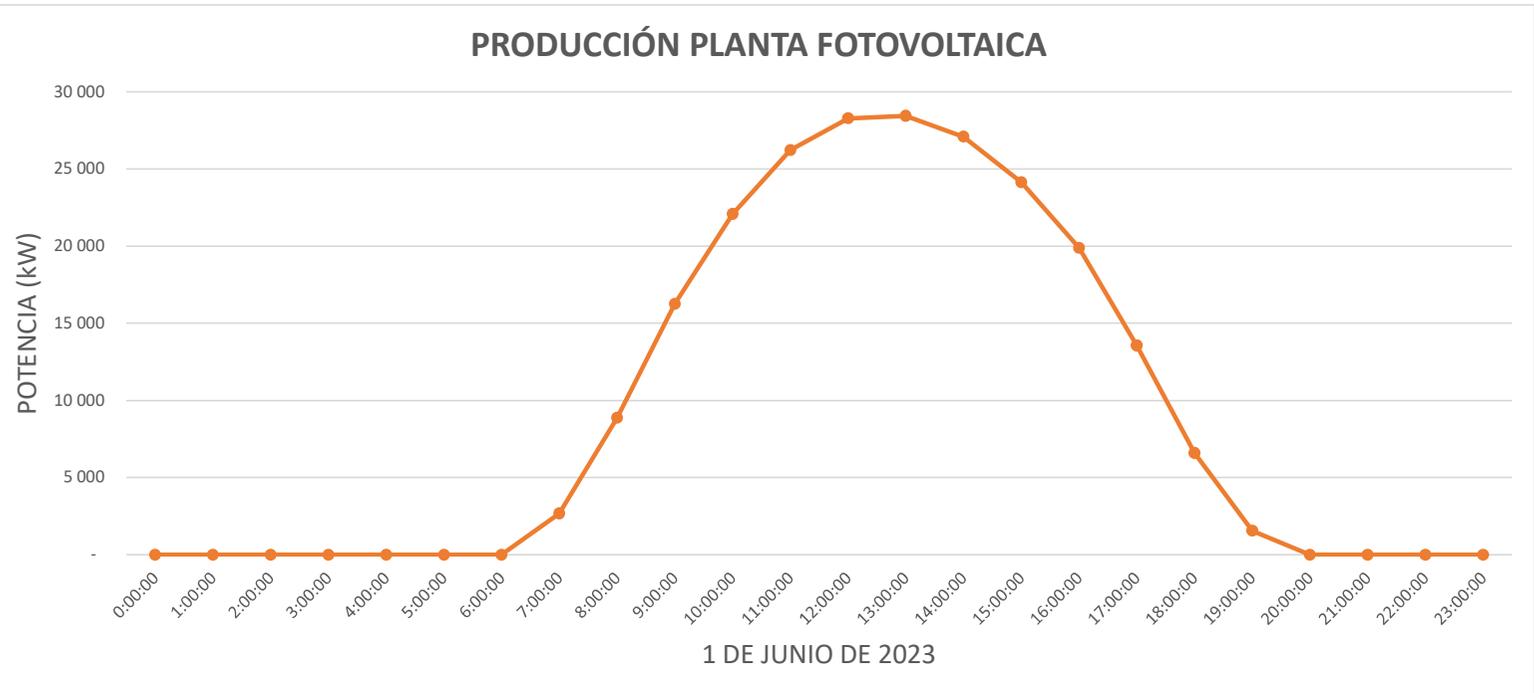
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

MAYO	
DÍA 01/05/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	1 804
8:00:00	9 051
9:00:00	17 732
10:00:00	24 538
11:00:00	29 064
12:00:00	31 363
13:00:00	31 772
14:00:00	30 460
15:00:00	27 178
16:00:00	22 024
17:00:00	14 715
18:00:00	6 238
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



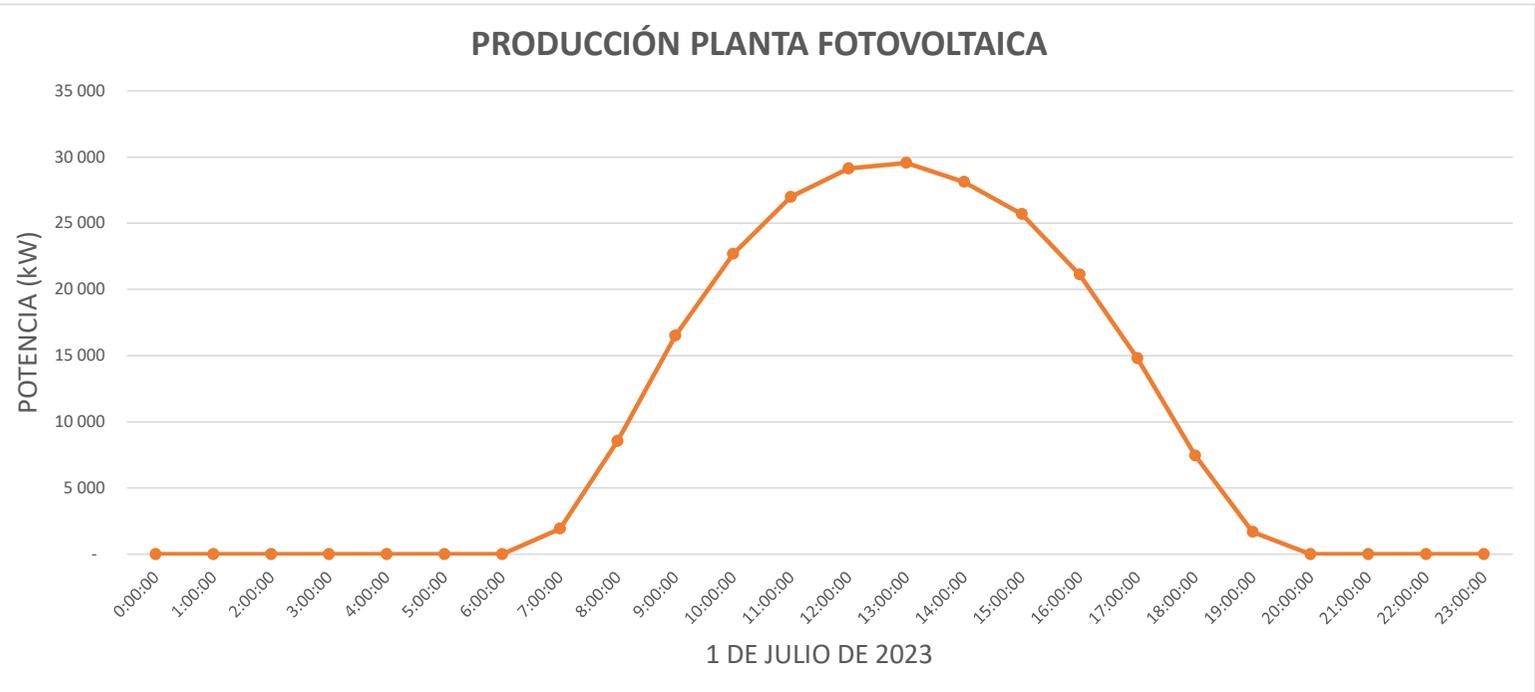
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

JUNIO	
DÍA 01/06/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	2 677
8:00:00	8 868
9:00:00	16 253
10:00:00	22 070
11:00:00	26 210
12:00:00	28 272
13:00:00	28 435
14:00:00	27 081
15:00:00	24 130
16:00:00	19 883
17:00:00	13 565
18:00:00	6 593
19:00:00	1 551
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



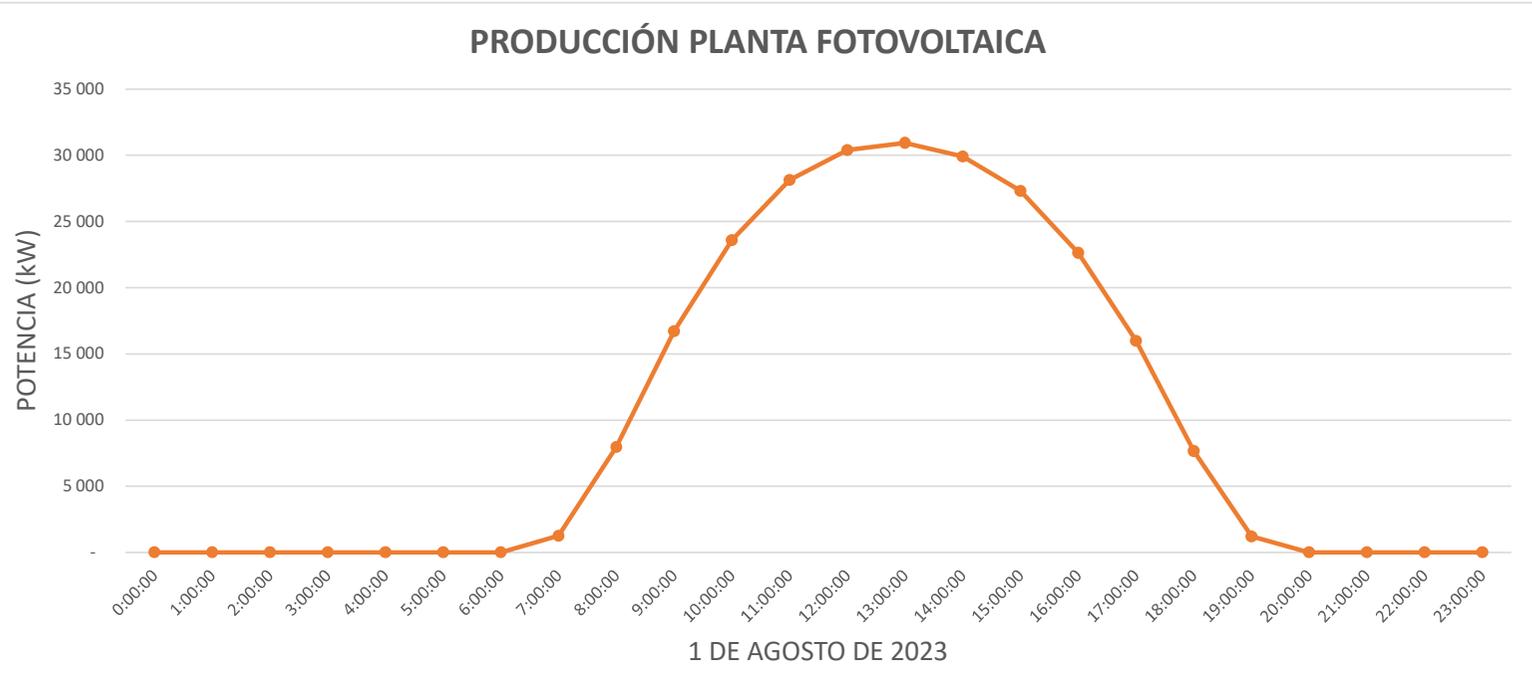
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

JULIO	
DÍA 01/07/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	1 920
8:00:00	8 551
9:00:00	16 502
10:00:00	22 687
11:00:00	26 995
12:00:00	29 150
13:00:00	29 568
14:00:00	28 129
15:00:00	25 701
16:00:00	21 127
17:00:00	14 809
18:00:00	7 454
19:00:00	1 676
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



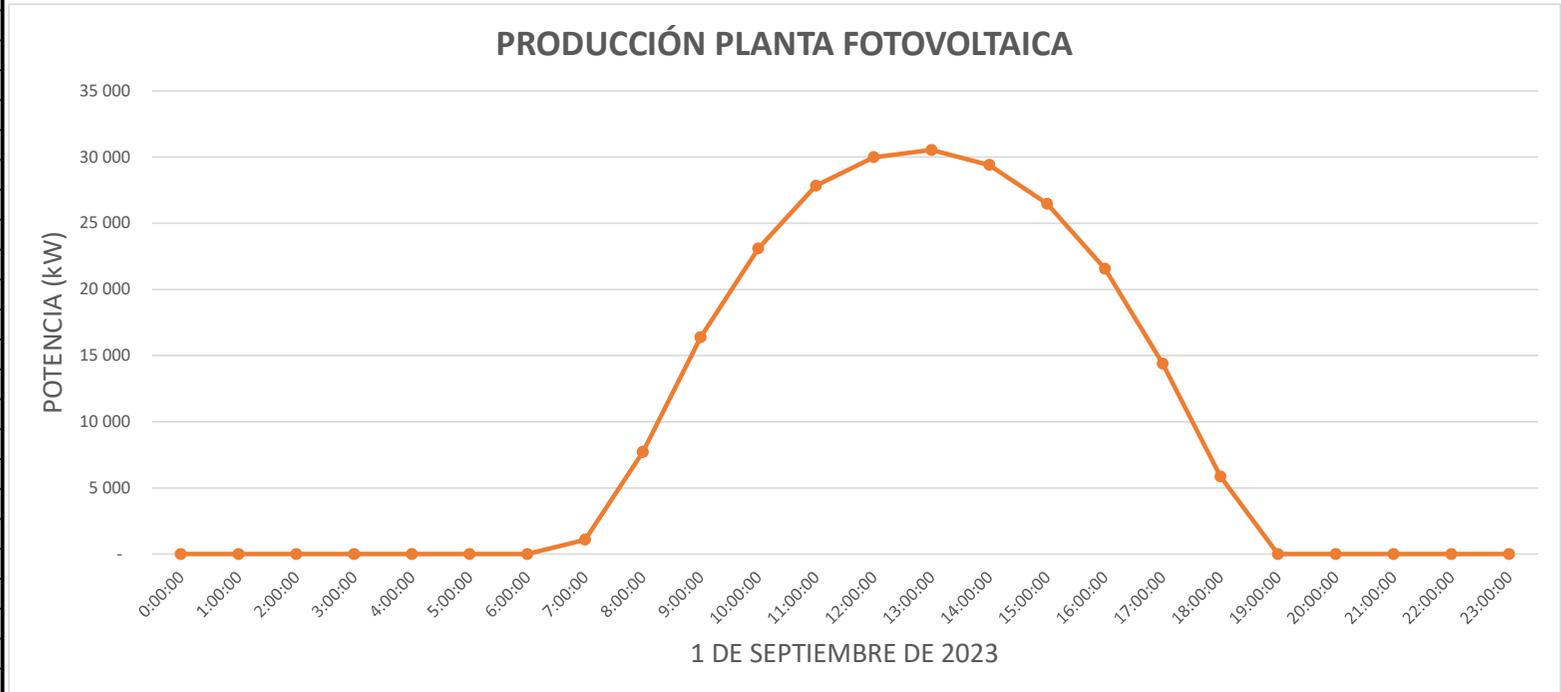
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

AGOSTO	
DÍA 01/08/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	1 262
8:00:00	7 956
9:00:00	16 708
10:00:00	23 589
11:00:00	28 140
12:00:00	30 404
13:00:00	30 937
14:00:00	29 923
15:00:00	27 306
16:00:00	22 637
17:00:00	15 991
18:00:00	7 648
19:00:00	1 197
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



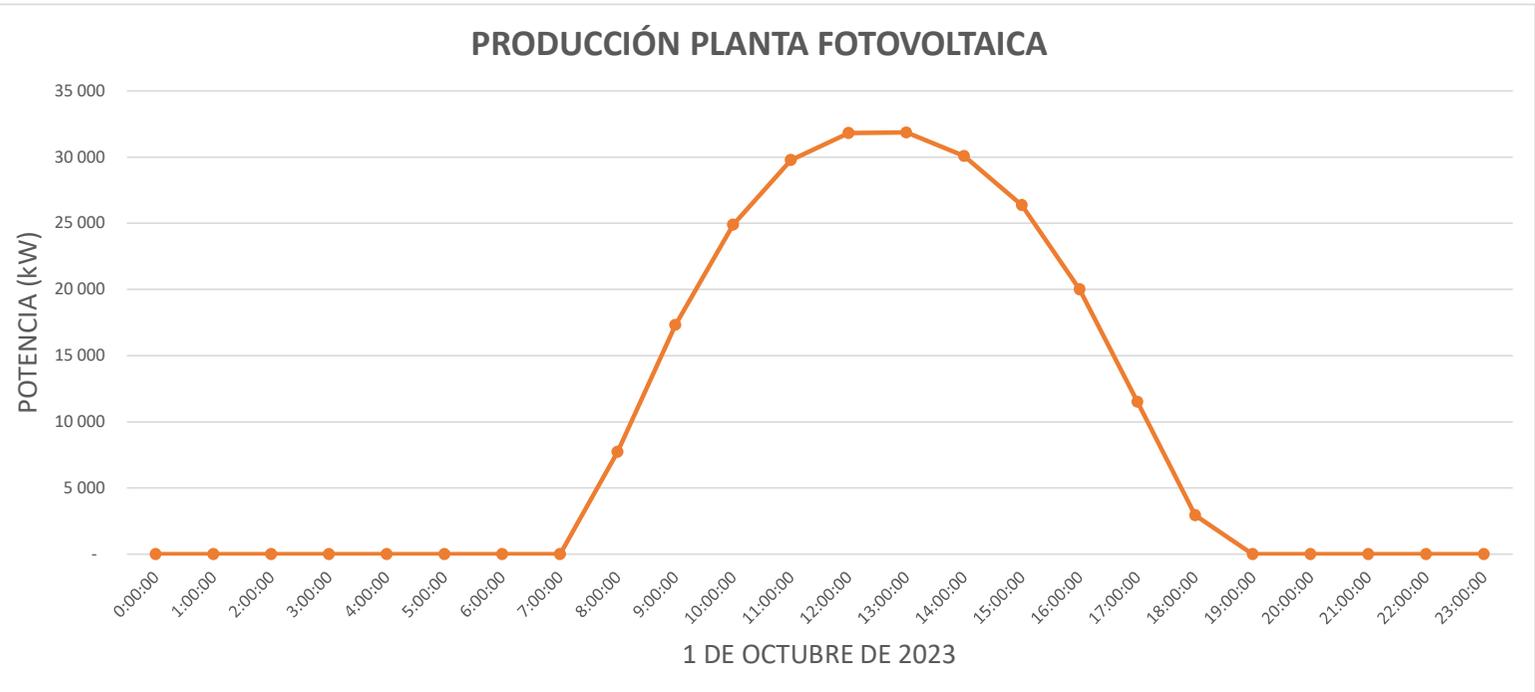
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

SEPTIEMBRE	
DÍA 01/09/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	1 090
8:00:00	7 705
9:00:00	16 383
10:00:00	23 092
11:00:00	27 832
12:00:00	29 990
13:00:00	30 535
14:00:00	29 408
15:00:00	26 463
16:00:00	21 563
17:00:00	14 404
18:00:00	5 852
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



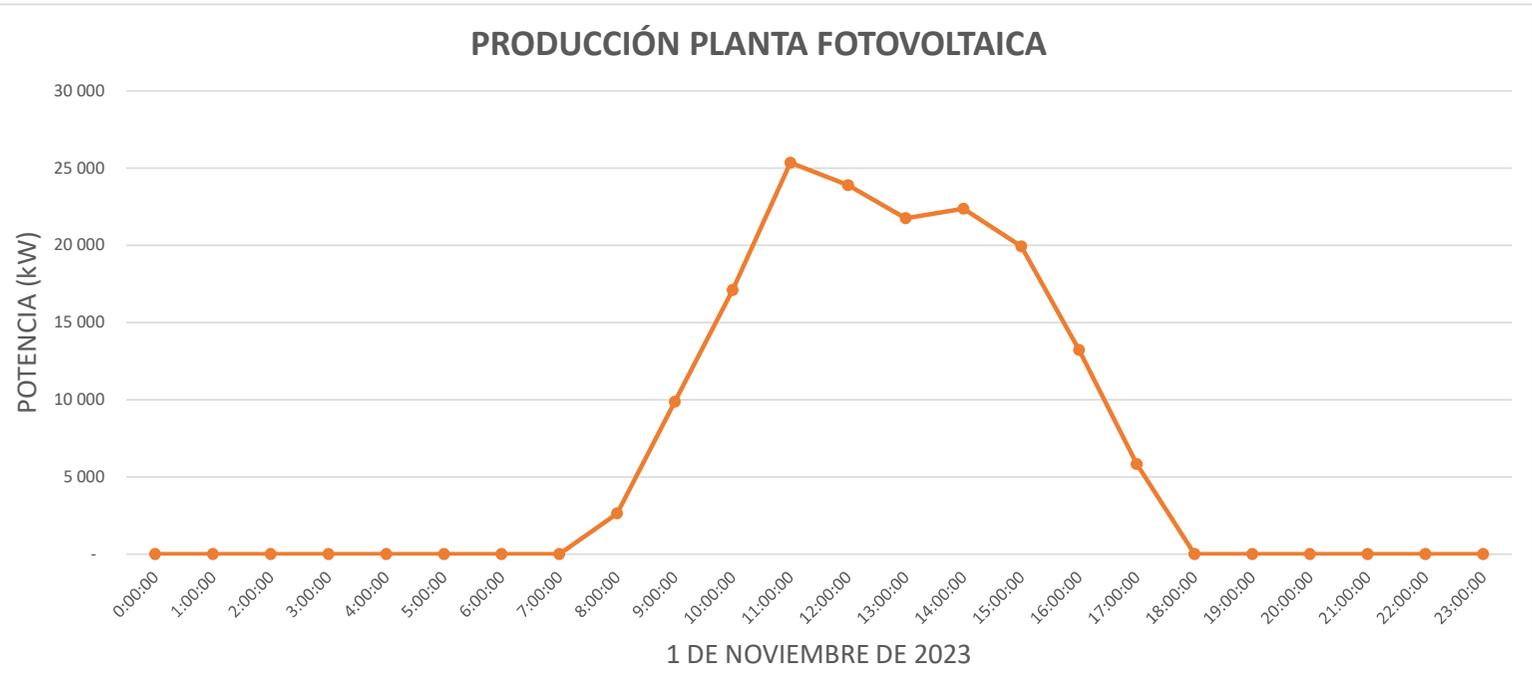
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

OCTUBRE	
DÍA 01/10/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	-
8:00:00	7 732
9:00:00	17 319
10:00:00	24 888
11:00:00	29 785
12:00:00	31 830
13:00:00	31 870
14:00:00	30 088
15:00:00	26 384
16:00:00	20 019
17:00:00	11 502
18:00:00	2 931
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



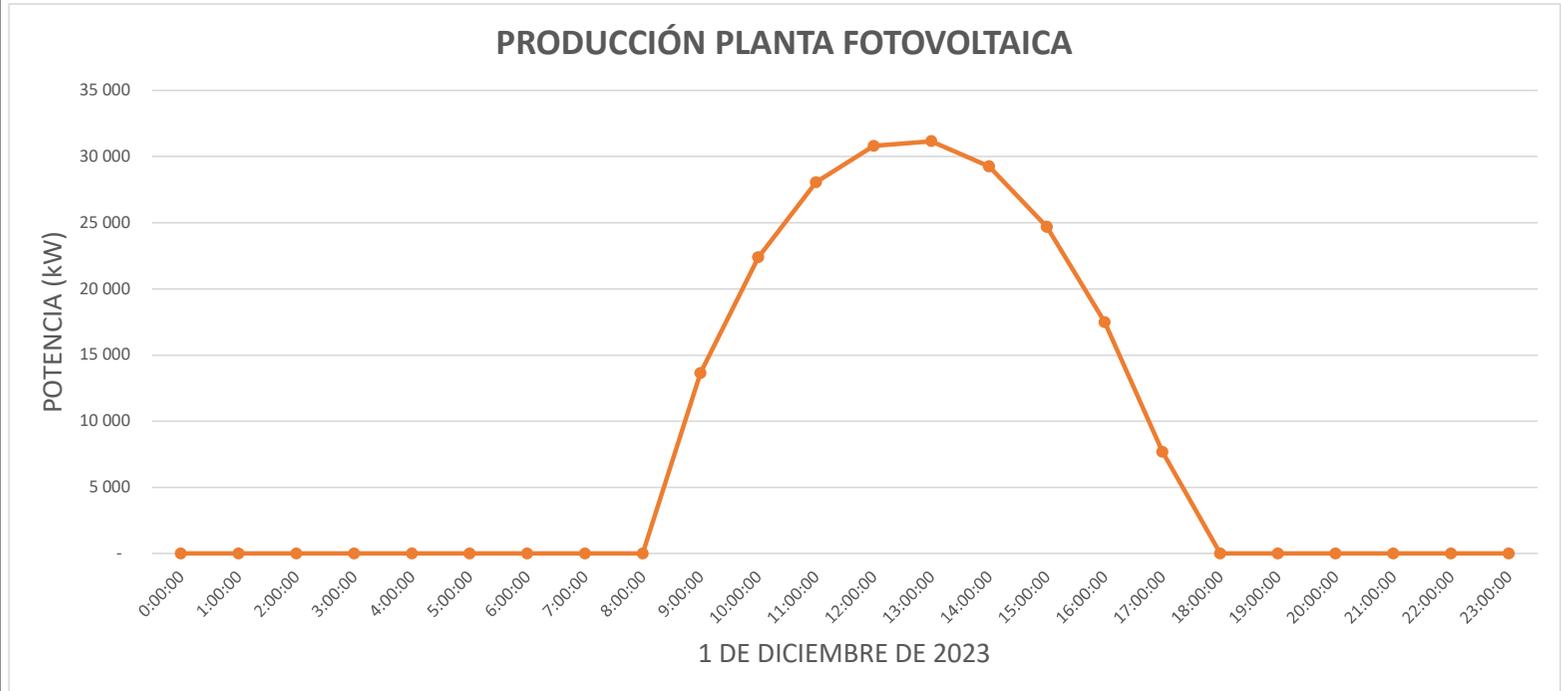
## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

NOVIEMBRE	
DÍA 01/11/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	-
8:00:00	2 633
9:00:00	9 862
10:00:00	17 112
11:00:00	25 358
12:00:00	23 891
13:00:00	21 752
14:00:00	22 364
15:00:00	19 930
16:00:00	13 220
17:00:00	5 816
18:00:00	-
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



## PRODUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA

DICIEMBRE	
DÍA 01/12/2023	POTENCIA (kW)
0:00:00	-
1:00:00	-
2:00:00	-
3:00:00	-
4:00:00	-
5:00:00	-
6:00:00	-
7:00:00	-
8:00:00	-
9:00:00	13 643
10:00:00	22 397
11:00:00	28 067
12:00:00	30 813
13:00:00	31 164
14:00:00	29 253
15:00:00	24 684
16:00:00	17 479
17:00:00	7 685
18:00:00	-
19:00:00	-
20:00:00	-
21:00:00	-
22:00:00	-
23:00:00	-



# ANEXO C: CATÁLOGO ELECTROLIZADORES H-TEC

---

En este anexo se incluyen los catálogos de los electrolizadores H-TEC considerados en el proyecto.



## H-TEC PEM Electrolyzer HCS

- Cube system for large multi-MW PEM electrolysis plants
- Closed container solution for outdoor installation or open skids for indoor installation
- Optional water treatment and hydrogen purification

10 MW HCS | 4 MW HCS | 2 MW HCS | FURTHER SIZES ON REQUEST

## Multi-megawatt scale green hydrogen production

Modular, scalable, powerful. The H-TEC SYSTEMS Hydrogen Cube System (HCS) is a modular system, designed to realize large PEM electrolysis plants for producing green hydrogen. Multiple 2 MW Cubes can be combined to build up multi-MW plants. The Cubes are available as closed containers for outdoor use or as open skids for indoor installation. They are equipped with 18 H-TEC SYSTEMS S450 PEM Stacks, integrated process water treatment and an electrical power supply. Water and hydrogen purification units can be integrated optionally.

**10.0** MW  
 ELECTRIC POWER

**4.500.0** kg d<sup>-1</sup>  
 NOMINAL H<sub>2</sub> PRODUCTION

**4.7** kWh Nm<sup>-3</sup>  
 NOMINAL ENERGY CONSUMPTION

# 10 MW HCS Parameters



<b>H<sub>2</sub> Production nominal<sup>1</sup></b>	4500 kg/d   2100 Nm <sup>3</sup> /h
<b>H<sub>2</sub> Purity</b>	99,9 % (3.0)
<b>H<sub>2</sub> Purity incl. optional hydrogen purification</b>	99,999 % (5.0, meets ISO 14687:2019)
<b>Energy consumption nominal<sup>1</sup></b>	4,7 kWh / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
<b>Electrical power nominal<sup>1</sup></b>	10 MW
<b>Production modulation range</b>	20 – 100 %
<b>System efficiency nominal<sup>1</sup></b>	75 %
<b>Load change</b>	30 s (hot standby to nominal load)
<b>H<sub>2</sub> Output pressure</b>	20 – 30 bar(g)
<b>Required water quality</b>	Demineralized water
<b>Required water quality incl. optional water purification<sup>2</sup></b>	TrinkwV 2020   EU Richtlinie 2020/2184-EU
<b>Demineralized water consumption nominal<sup>1</sup></b>	16 kg / kg H <sub>2</sub>
<b>Dimensions</b>	15 Outdoor containers / indoor skids 6.8 x 2.7 x 3.2 m each
<b>Ambient temperature</b>	-20°C to +40°C

Technical changes reserved

<sup>1</sup> standard conditions: BoL, 15°C outdoor temperature, 30bar(g) H<sub>2</sub> transfer pressure and 400 Nm<sup>3</sup>/h, based on HHV

<sup>2</sup> Individual water analysis required for plant configuration

## 4 MW HCS Parameters



<b>H<sub>2</sub> Production nominal<sup>1</sup></b>	1800 kg/d   840 Nm <sup>3</sup> /h
<b>H<sub>2</sub> Purity</b>	99,9 % (3.0)
<b>Purity incl. optional hydrogen purification</b>	99,999 % (5.0, meets ISO 14687:2019)
<b>energy consumption nominal<sup>1</sup></b>	4,7 kWh / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
<b>Electrical power nominal<sup>1</sup></b>	4 MW
<b>H<sub>2</sub> Production modulation range</b>	20 – 100 %
<b>System efficiency nominal<sup>1</sup></b>	75 %
<b>Load change</b>	30 s (hot standby to nominal load)
<b>H<sub>2</sub> Output pressure</b>	20 – 30 bar(g)
<b>Required water quality</b>	Demineralized water
<b>Required water quality incl. optional water purification<sup>2</sup></b>	TrinkwV 2020   EU Directive 2020/2184-EU
<b>Demineralized water consumption nominal<sup>1</sup></b>	16 kg / kg H <sub>2</sub>
<b>Dimensions</b>	6 Outdoor containers / indoor skids 6.8 x 2.7 x 3.2 m each
<b>Ambient temperature</b>	-20 °C to +40 °C

Technical changes reserved

<sup>1</sup> standard conditions: BoL, 15 °C outdoor temperature, 30bar(g) H<sub>2</sub> transfer pressure and 400 Nm<sup>3</sup>/h, based on HHV

<sup>2</sup> Individual water analysis required for plant configuration

## 2 MW HCS Parameters



<b>H<sub>2</sub> Production nominal<sup>1</sup></b>	900 kg/d   420 Nm <sup>3</sup> /h
<b>H<sub>2</sub> Purity</b>	99,9 % (3.0)
<b>H<sub>2</sub> Purity incl. optional hydrogen purification</b>	99.999 % (5.0, meets ISO 14687:2019)
<b>Energy consumption nominal<sup>1</sup></b>	4,7 kWh / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
<b>Electrical power nominal<sup>1</sup></b>	2 MW
<b>H<sub>2</sub> Production modulation range</b>	20 – 100 %
<b>System efficiency nominal<sup>1</sup></b>	75 %
<b>Load change</b>	30 s (hot standby to nominal load)
<b>H<sub>2</sub> Output pressure</b>	20 – 30 bar(g)
<b>Required water quality</b>	Demineralized water
<b>Required water quality incl. optional water purification<sup>2</sup></b>	TrinkwV 2020   EU Directive 2020/2184-EU
<b>Demineralized water consumption nominal<sup>1</sup></b>	16 kg / kg H <sub>2</sub>
<b>Dimensions</b>	3 Outdoor containers / indoor skids 6.8 x 2.7 x 3.2 m each
<b>Ambient temperature</b>	-20 °C to +40 °C

Technical changes reserved

<sup>1</sup> standard conditions: BoL, 15 °C outdoor temperature, 30bar(g) H<sub>2</sub> transfer pressure and 400 Nm<sup>3</sup>/h, based on HHV

<sup>2</sup> Individual water analysis required for plant configuration

# **ANEXO D: COMBINACIONES DE ELECTROLIZADORES**

---

En este anexo se presentan las combinaciones de electrolizadores consideradas para el proyecto.

COMBINACIONES DE ELECTROLIZADORES PARA LA PLANTA DE HIDRÓGENO

DATOS PRODUCCIÓN AÑO 2023

CASO 1 POTENCIA 10 MW

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>26 190 827</b>		
<b>Horas con P&gt;20% P<sub>nominal</sub></b>		<b>2926</b>		

CASO 2 POTENCIA 12 MW

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>26 190 827</b>		
<b>Horas con P&gt;20% P<sub>nominal</sub></b>		<b>2926</b>		

ELECTROLIZADOR 2 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	1879	3 758 000	59,4%	92,1%
90%-100%	18	34 444	0,6%	0,9%
80%-90%	22	37 384	0,7%	1,1%
70%-80%	20	29 665	0,6%	1,0%
60%-70%	19	24 867	0,6%	0,9%
50%-60%	26	28 820	0,8%	1,3%
40%-50%	16	14 436	0,5%	0,8%
30%-40%	25	17 439	0,8%	1,2%
20%-30%	15	7 526	0,5%	0,7%
10%-20%	29	8 730	0,9%	
0%-10%	19	1 743	0,6%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>3 952 580</b>		
<b>Horas con P&gt;20% P<sub>nominal</sub></b>		<b>2040</b>		

CASO 3 POTENCIA 14 MW

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>26 190 827</b>		
<b>Horas con P&gt;20% P<sub>nominal</sub></b>		<b>2926</b>		

ELECTROLIZADOR 4 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	1618	6 472 000	51,1%	80,9%
90%-100%	60	228 151	1,9%	3,0%
80%-90%	59	199 877	1,9%	3,0%
70%-80%	47	140 328	1,5%	2,4%
60%-70%	46	120 106	1,5%	2,3%
50%-60%	49	107 543	1,5%	2,5%
40%-50%	40	71 828	1,3%	2,0%
30%-40%	39	54 532	1,2%	2,0%
20%-30%	42	43 255	1,3%	2,1%
10%-20%	40	24 965	1,3%	
0%-10%	48	10 473	1,5%	
<b>Energía total (kWh)</b>		<b>7 437 621</b>		
<b>Horas con P&gt;20% P<sub>nominal</sub></b>		<b>2000</b>		

COMBINACIONES DE ELECTROLIZADORES PARA LA PLANTA DE HIDRÓGENO

DATOS PRODUCCIÓN AÑO 2023

CASO 4 POTENCIA 16 MW

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
Energía total (kWh)		26 190 827		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2926		

ELECTROLIZADOR 4 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	1618	6 472 000	51,1%	80,9%
90%-100%	60	228 151	1,9%	3,0%
80%-90%	59	199 877	1,9%	3,0%
70%-80%	47	140 328	1,5%	2,4%
60%-70%	46	120 106	1,5%	2,3%
50%-60%	49	107 543	1,5%	2,5%
40%-50%	40	71 828	1,3%	2,0%
30%-40%	39	54 532	1,2%	2,0%
20%-30%	42	43 255	1,3%	2,1%
10%-20%	40	24 965	1,3%	
0%-10%	48	10 473	1,5%	
Energía total (kWh)		7 437 621		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2000		

ELECTROLIZADOR 2 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	1349	2 698 000	42,6%	86,0%
90%-100%	24	45 419	0,8%	1,5%
80%-90%	29	49 791	0,9%	1,8%
70%-80%	22	33 747	0,7%	1,4%
60%-70%	30	39 408	0,9%	1,9%
50%-60%	29	32 318	0,9%	1,8%
40%-50%	31	28 381	1,0%	2,0%
30%-40%	27	18 897	0,9%	1,7%
20%-30%	28	13 768	0,9%	1,8%
10%-20%	25	7 740	0,8%	
0%-10%	24	1 914	0,8%	
Energía total (kWh)		2 959 729		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		1569		

CASO 5 POTENCIA 18 MW

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
Energía total (kWh)		26 190 827		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2926		

ELECTROLIZADOR 4 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	1618	6 472 000	51,1%	80,9%
90%-100%	60	228 151	1,9%	3,0%
80%-90%	59	199 877	1,9%	3,0%
70%-80%	47	140 328	1,5%	2,4%
60%-70%	46	120 106	1,5%	2,3%
50%-60%	49	107 543	1,5%	2,5%
40%-50%	40	71 828	1,3%	2,0%
30%-40%	39	54 532	1,2%	2,0%
20%-30%	42	43 255	1,3%	2,1%
10%-20%	40	24 965	1,3%	
0%-10%	48	10 473	1,5%	
Energía total (kWh)		7 437 621		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2000		

ELECTROLIZADOR 4 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	1046	4 184 000	33,1%	69,1%
90%-100%	71	268 957	2,2%	4,7%
80%-90%	54	182 746	1,7%	3,6%
70%-80%	61	182 384	1,9%	4,0%
60%-70%	58	150 378	1,8%	3,8%
50%-60%	59	129 758	1,9%	3,9%
40%-50%	53	95 210	1,7%	3,5%
30%-40%	52	73 155	1,6%	3,4%
20%-30%	60	60 699	1,9%	4,0%
10%-20%	55	32 665	1,7%	
0%-10%	49	9 654	1,5%	
Energía total (kWh)		5 327 286		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		1514		

CASO 6 POTENCIA 20 MW

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
Energía total (kWh)		26 190 827		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2926		

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
Energía total (kWh)		26 190 827		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2926		

COMBINACIONES DE ELECTROLIZADORES PARA LA PLANTA DE HIDRÓGENO

DATOS PRODUCCIÓN AÑO 2023

CASO 7 POTENCIA 22 MW

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
Energía total (kWh)		26 190 827		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2926		

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
Energía total (kWh)		26 190 827		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2926		

ELECTROLIZADOR 2 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	291	582 000	9,2%	48,8%
90%-100%	34	65 083	1,1%	5,7%
80%-90%	36	61 068	1,1%	6,0%
70%-80%	44	65 710	1,4%	7,4%
60%-70%	31	40 314	1,0%	5,2%
50%-60%	37	40 915	1,2%	6,2%
40%-50%	45	40 561	1,4%	7,6%
30%-40%	32	22 636	1,0%	5,4%
20%-30%	46	22 828	1,5%	7,7%
10%-20%	44	13 194	1,4%	
0%-10%	38	3 743	1,2%	
Energía total (kWh)		941 115		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		596		

CASO 8 POTENCIA 24 MW

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
Energía total (kWh)		26 190 827		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2926		

ELECTROLIZADOR 10 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	2088	20 880 000	66,0%	71,4%
90%-100%	105	993 949	3,3%	3,6%
80%-90%	133	1 123 520	4,2%	4,5%
70%-80%	132	996 228	4,2%	4,5%
60%-70%	131	854 722	4,1%	4,5%
50%-60%	90	496 715	2,8%	3,1%
40%-50%	83	381 823	2,6%	2,8%
30%-40%	59	205 278	1,9%	2,0%
20%-30%	105	258 592	3,3%	3,6%
10%-20%	114	165 252	3,6%	
0%-10%	124	64 266	3,9%	
Energía total (kWh)		26 190 827		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		2926		

ELECTROLIZADOR 4 MW				
% respecto P <sub>nominal</sub>	Horas en franja de potencia	Energía total por franja (kWh)	% por rango	% rango con P > 20% P <sub>nom</sub>
P <sub>nominal</sub>	78	312 000	2,5%	15,1%
90%-100%	25	93 505	0,8%	4,8%
80%-90%	32	108 607	1,0%	6,2%
70%-80%	42	125 504	1,3%	8,1%
60%-70%	57	148 293	1,8%	11,0%
50%-60%	57	125 139	1,8%	11,0%
40%-50%	70	126 151	2,2%	13,5%
30%-40%	75	106 025	2,4%	14,5%
20%-30%	82	81 476	2,6%	15,8%
10%-20%	78	45 464	2,5%	
0%-10%	82	16 936	2,6%	
Energía total (kWh)		1 226 699		
Horas con P>20% P <sub>nominal</sub>		518		

# ANEXO E: PRODUCCIÓN ENERO 2024

---

En este anexo se presentan los siguientes datos correspondientes a cada hora del mes de enero:

- Potencia demandada por La Rinconada en 2023.
- Potencia demandada por La Rinconada en 2024.
- Potencia producida por la planta fotovoltaica en 2023.
- Potencia producida por la planta fotovoltaica en 2024.
- Excedente de potencia tras abastecer demanda.
- Potencia disponible para producir hidrógeno.
- Potencia disponible para venta tras producir hidrógeno.
- Producción de hidrógeno.

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
01/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	9:00	7 937	8 016	1 617	1 606	-	-	-	-	-
01/01/2024	10:00	8 255	8 338	6 749	6 705	-	-	-	-	-
01/01/2024	11:00	8 352	8 436	10 931	10 860	2 424	2 424	-	561	50
01/01/2024	12:00	8 317	8 400	3 006	2 986	-	-	-	-	-
01/01/2024	13:00	8 395	8 479	6 486	6 444	-	-	-	-	-
01/01/2024	14:00	8 263	8 346	4 328	4 300	-	-	-	-	-
01/01/2024	15:00	8 131	8 212	11 981	11 903	3 691	3 691	-	825	74
01/01/2024	16:00	7 953	8 033	4 541	4 511	-	-	-	-	-
01/01/2024	17:00	7 819	7 897	655	651	-	-	-	-	-
01/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
01/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	9:00	7 937	8 016	5 626	5 589	-	-	-	-	-
02/01/2024	10:00	8 255	8 338	13 459	13 372	5 034	5 034	-	1 089	98
02/01/2024	11:00	8 352	8 436	17 789	17 673	9 238	9 238	-	1 921	173
02/01/2024	12:00	8 317	8 400	21 205	21 067	12 667	10 000	2 667	2 071	186
02/01/2024	13:00	8 395	8 479	22 277	22 132	13 653	10 000	3 653	2 071	186
02/01/2024	14:00	8 263	8 346	20 371	20 239	11 893	10 000	1 893	2 071	186
02/01/2024	15:00	8 131	8 212	18 430	18 310	10 098	10 000	98	2 071	186
02/01/2024	16:00	7 953	8 033	13 141	13 056	5 023	5 023	-	1 087	98
02/01/2024	17:00	7 819	7 897	6 057	6 018	-	-	-	-	-
02/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
02/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
03/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	9:00	7 937	8 016	10 724	10 654	2 638	2 638	-	610	55
03/01/2024	10:00	8 255	8 338	20 223	20 092	11 754	10 000	1 754	2 071	186
03/01/2024	11:00	8 352	8 436	26 498	26 326	17 890	10 000	7 890	2 071	186
03/01/2024	12:00	8 317	8 400	29 960	29 765	21 365	10 000	11 365	2 071	186
03/01/2024	13:00	8 395	8 479	30 909	30 708	22 229	10 000	12 229	2 071	186
03/01/2024	14:00	8 263	8 346	29 491	29 299	20 954	10 000	10 954	2 071	186
03/01/2024	15:00	8 131	8 212	25 563	25 397	17 185	10 000	7 185	2 071	186
03/01/2024	16:00	7 953	8 033	19 148	19 024	10 991	10 000	991	2 071	186
03/01/2024	17:00	7 819	7 897	9 706	9 643	1 746	-	1 746	-	-
03/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
03/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 650	8 594	577	-	577	-	-
04/01/2024	10:00	8 255	8 338	18 167	18 049	9 711	9 711	-	2 019	182
04/01/2024	11:00	8 352	8 436	24 209	24 052	15 616	10 000	5 616	2 071	186
04/01/2024	12:00	8 317	8 400	28 090	27 907	19 507	10 000	9 507	2 071	186
04/01/2024	13:00	8 395	8 479	28 797	28 610	20 131	10 000	10 131	2 071	186
04/01/2024	14:00	8 263	8 346	27 530	27 351	19 005	10 000	9 005	2 071	186
04/01/2024	15:00	8 131	8 212	23 886	23 731	15 518	10 000	5 518	2 071	186
04/01/2024	16:00	7 953	8 033	17 737	17 622	9 589	9 589	-	1 994	179
04/01/2024	17:00	7 819	7 897	8 839	8 782	884	-	884	-	-
04/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
04/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
05/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	9:00	7 937	8 016	6 393	6 351	-	-	-	-	-
05/01/2024	10:00	8 255	8 338	15 100	15 002	6 664	6 664	-	1 429	128
05/01/2024	11:00	8 352	8 436	21 636	21 495	13 060	10 000	3 060	2 071	186
05/01/2024	12:00	8 317	8 400	25 810	25 642	17 242	10 000	7 242	2 071	186
05/01/2024	13:00	8 395	8 479	27 179	27 002	18 523	10 000	8 523	2 071	186
05/01/2024	14:00	8 263	8 346	25 758	25 591	17 245	10 000	7 245	2 071	186
05/01/2024	15:00	8 131	8 212	20 918	20 782	12 570	10 000	2 570	2 071	186
05/01/2024	16:00	7 953	8 033	16 244	16 138	8 106	8 106	-	1 704	153
05/01/2024	17:00	7 819	7 897	7 471	7 422	-	-	-	-	-
05/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
05/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	9:00	7 937	8 016	3 405	3 383	-	-	-	-	-
06/01/2024	10:00	8 255	8 338	8 726	8 669	332	-	332	-	-
06/01/2024	11:00	8 352	8 436	12 940	12 856	4 420	4 420	-	967	87
06/01/2024	12:00	8 317	8 400	15 158	15 059	6 659	6 659	-	1 427	128
06/01/2024	13:00	8 395	8 479	15 767	15 665	7 186	7 186	-	1 520	137
06/01/2024	14:00	8 263	8 346	14 985	14 888	6 542	6 542	-	1 402	126
06/01/2024	15:00	8 131	8 212	11 497	11 422	3 210	3 210	-	718	65
06/01/2024	16:00	7 953	8 033	7 311	7 263	-	-	-	-	-
06/01/2024	17:00	7 819	7 897	4 443	4 414	-	-	-	-	-
06/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
06/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
07/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 993	8 935	918	-	918	-	-
07/01/2024	10:00	8 255	8 338	18 494	18 374	10 036	10 000	36	2 071	186
07/01/2024	11:00	8 352	8 436	24 701	24 540	16 105	10 000	6 105	2 071	186
07/01/2024	12:00	8 317	8 400	28 682	28 496	20 095	10 000	10 095	2 071	186
07/01/2024	13:00	8 395	8 479	29 658	29 664	21 185	10 000	11 185	2 071	186
07/01/2024	14:00	8 263	8 346	28 707	28 520	20 175	10 000	10 175	2 071	186
07/01/2024	15:00	8 131	8 212	25 398	25 233	17 021	10 000	7 021	2 071	186
07/01/2024	16:00	7 953	8 033	18 931	18 808	10 775	10 000	775	2 071	186
07/01/2024	17:00	7 819	7 897	9 527	9 465	1 568	-	1 568	-	-
07/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
07/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	9:00	7 937	8 016	6 369	6 328	-	-	-	-	-
08/01/2024	10:00	8 255	8 338	13 580	13 492	5 154	5 154	-	1 115	100
08/01/2024	11:00	8 352	8 436	19 043	18 919	10 484	10 000	484	2 071	186
08/01/2024	12:00	8 317	8 400	22 065	21 922	13 521	10 000	3 521	2 071	186
08/01/2024	13:00	8 395	8 479	22 390	22 244	13 766	10 000	3 766	2 071	186
08/01/2024	14:00	8 263	8 346	21 347	21 208	12 863	10 000	2 863	2 071	186
08/01/2024	15:00	8 131	8 212	18 088	17 970	9 758	9 758	-	2 029	182
08/01/2024	16:00	7 953	8 033	12 517	12 436	4 403	4 403	-	964	87
08/01/2024	17:00	7 819	7 897	5 920	5 882	-	-	-	-	-
08/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
08/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
09/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	9:00	7 937	8 016	10 741	10 671	2 655	2 655	-	614	55
09/01/2024	10:00	8 255	8 338	19 895	19 766	11 428	10 000	1 428	2 071	186
09/01/2024	11:00	8 352	8 436	16 533	16 426	7 990	7 990	-	1 690	152
09/01/2024	12:00	8 317	8 400	9 441	9 380	979	-	979	-	-
09/01/2024	13:00	8 395	8 479	4 084	4 057	-	-	-	-	-
09/01/2024	14:00	8 263	8 346	11 496	11 421	3 076	3 076	-	688	62
09/01/2024	15:00	8 131	8 212	17 510	17 396	9 184	9 184	-	1 910	172
09/01/2024	16:00	7 953	8 033	16 285	16 179	8 147	8 147	-	1 712	154
09/01/2024	17:00	7 819	7 897	2 903	2 884	-	-	-	-	-
09/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
09/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	9:00	7 937	8 016	3 817	3 792	-	-	-	-	-
10/01/2024	10:00	8 255	8 338	11 230	11 157	2 819	2 819	-	653	59
10/01/2024	11:00	8 352	8 436	16 245	16 139	7 704	7 704	-	1 630	147
10/01/2024	12:00	8 317	8 400	18 685	18 564	10 163	10 000	163	2 071	186
10/01/2024	13:00	8 395	8 479	16 787	16 678	8 199	8 199	-	1 723	155
10/01/2024	14:00	8 263	8 346	15 639	15 537	7 192	7 192	-	1 521	137
10/01/2024	15:00	8 131	8 212	13 569	13 481	5 268	5 268	-	1 140	102
10/01/2024	16:00	7 953	8 033	9 420	9 359	1 326	-	1 326	-	-
10/01/2024	17:00	7 819	7 897	5 637	5 600	-	-	-	-	-
10/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
11/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	9:00	7 937	8 016	9 121	9 062	1 045	-	1 045	-	-
11/01/2024	10:00	8 255	8 338	19 039	18 915	10 578	10 000	578	2 071	186
11/01/2024	11:00	8 352	8 436	25 518	25 352	16 917	10 000	6 917	2 071	186
11/01/2024	12:00	8 317	8 400	29 380	29 189	20 789	10 000	10 789	2 071	186
11/01/2024	13:00	8 395	8 479	30 681	30 482	22 003	10 000	12 003	2 071	186
11/01/2024	14:00	8 263	8 346	29 742	29 549	21 203	10 000	11 203	2 071	186
11/01/2024	15:00	8 131	8 212	25 922	25 754	17 541	10 000	7 541	2 071	186
11/01/2024	16:00	7 953	8 033	19 249	19 124	11 091	10 000	1 091	2 071	186
11/01/2024	17:00	7 819	7 897	9 833	9 769	1 872	-	1 872	-	-
11/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
11/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 392	8 337	321	-	321	-	-
12/01/2024	10:00	8 255	8 338	17 379	17 266	8 928	8 928	-	1 876	169
12/01/2024	11:00	8 352	8 436	24 324	24 166	15 730	10 000	5 730	2 071	186
12/01/2024	12:00	8 317	8 400	28 383	28 199	19 798	10 000	9 798	2 071	186
12/01/2024	13:00	8 395	8 479	28 729	28 542	20 063	10 000	10 063	2 071	186
12/01/2024	14:00	8 263	8 346	26 209	26 039	17 693	10 000	7 693	2 071	186
12/01/2024	15:00	8 131	8 212	23 500	23 347	15 135	10 000	5 135	2 071	186
12/01/2024	16:00	7 953	8 033	17 695	17 580	9 547	9 547	-	1 985	178
12/01/2024	17:00	7 819	7 897	9 193	9 133	1 236	-	1 236	-	-
12/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
12/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
13/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 435	8 380	364	-	364	-	-
13/01/2024	10:00	8 255	8 338	17 560	17 446	9 108	9 108	-	1 894	170
13/01/2024	11:00	8 352	8 436	23 483	23 330	14 895	10 000	4 895	2 071	186
13/01/2024	12:00	8 317	8 400	27 412	27 234	18 834	10 000	8 834	2 071	186
13/01/2024	13:00	8 395	8 479	28 728	28 541	20 062	10 000	10 062	2 071	186
13/01/2024	14:00	8 263	8 346	27 896	27 715	19 369	10 000	9 369	2 071	186
13/01/2024	15:00	8 131	8 212	24 787	24 626	16 414	10 000	6 414	2 071	186
13/01/2024	16:00	7 953	8 033	18 863	18 740	10 708	10 000	708	2 071	186
13/01/2024	17:00	7 819	7 897	9 652	9 589	1 692	-	1 692	-	-
13/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
13/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 006	7 954	-	-	-	-	-
14/01/2024	10:00	8 255	8 338	16 258	16 152	7 815	7 815	-	1 653	149
14/01/2024	11:00	8 352	8 436	22 244	22 099	13 664	10 000	3 664	2 071	186
14/01/2024	12:00	8 317	8 400	25 441	25 276	16 875	10 000	6 875	2 071	186
14/01/2024	13:00	8 395	8 479	25 193	25 029	16 550	10 000	6 550	2 071	186
14/01/2024	14:00	8 263	8 346	24 288	24 130	15 784	10 000	5 784	2 071	186
14/01/2024	15:00	8 131	8 212	20 117	19 986	11 774	10 000	1 774	2 071	186
14/01/2024	16:00	7 953	8 033	14 259	14 166	6 134	6 134	-	1 315	118
14/01/2024	17:00	7 819	7 897	7 002	6 956	-	-	-	-	-
14/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
14/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
15/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	9:00	7 937	8 016	7 816	7 765	-	-	-	-	-
15/01/2024	10:00	8 255	8 338	17 565	17 451	9 113	9 113	-	1 895	170
15/01/2024	11:00	8 352	8 436	24 549	24 389	15 954	10 000	5 954	2 071	186
15/01/2024	12:00	8 317	8 400	27 305	27 128	18 727	10 000	8 727	2 071	186
15/01/2024	13:00	8 395	8 479	26 295	26 124	17 645	10 000	7 645	2 071	186
15/01/2024	14:00	8 263	8 346	25 659	25 492	17 147	10 000	7 147	2 071	186
15/01/2024	15:00	8 131	8 212	24 225	24 068	15 855	10 000	5 855	2 071	186
15/01/2024	16:00	7 953	8 033	18 216	18 098	10 065	10 000	65	2 071	186
15/01/2024	17:00	7 819	7 897	10 062	9 997	2 099	2 099	-	486	44
15/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
15/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	9:00	7 937	8 016	10 352	10 285	2 268	2 268	-	525	47
16/01/2024	10:00	8 255	8 338	20 149	20 018	11 680	10 000	1 680	2 071	186
16/01/2024	11:00	8 352	8 436	26 804	26 630	18 194	10 000	8 194	2 071	186
16/01/2024	12:00	8 317	8 400	30 732	30 532	22 132	10 000	12 132	2 071	186
16/01/2024	13:00	8 395	8 479	32 006	31 798	23 319	10 000	13 319	2 071	186
16/01/2024	14:00	8 263	8 346	30 719	30 519	22 174	10 000	12 174	2 071	186
16/01/2024	15:00	8 131	8 212	27 003	26 827	18 615	10 000	8 615	2 071	186
16/01/2024	16:00	7 953	8 033	20 783	20 648	12 615	10 000	2 615	2 071	186
16/01/2024	17:00	7 819	7 897	11 345	11 271	3 374	3 374	-	754	68
16/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
16/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
17/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	9:00	7 937	8 016	7 437	7 389	-	-	-	-	-
17/01/2024	10:00	8 255	8 338	13 659	13 570	5 233	5 233	-	1 132	102
17/01/2024	11:00	8 352	8 436	21 669	21 528	13 093	10 000	3 093	2 071	186
17/01/2024	12:00	8 317	8 400	27 153	26 977	18 576	10 000	8 576	2 071	186
17/01/2024	13:00	8 395	8 479	29 061	28 872	20 393	10 000	10 393	2 071	186
17/01/2024	14:00	8 263	8 346	23 952	23 796	15 451	10 000	5 451	2 071	186
17/01/2024	15:00	8 131	8 212	20 184	20 053	11 840	10 000	1 840	2 071	186
17/01/2024	16:00	7 953	8 033	14 589	14 494	6 462	6 462	-	1 385	125
17/01/2024	17:00	7 819	7 897	5 492	5 456	-	-	-	-	-
17/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
17/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	9:00	7 937	8 016	10 041	9 976	1 959	-	1 959	-	-
18/01/2024	10:00	8 255	8 338	19 876	19 747	11 409	10 000	1 409	2 071	186
18/01/2024	11:00	8 352	8 436	26 601	26 428	17 993	10 000	7 993	2 071	186
18/01/2024	12:00	8 317	8 400	30 244	30 047	21 647	10 000	11 647	2 071	186
18/01/2024	13:00	8 395	8 479	31 404	31 200	22 721	10 000	12 721	2 071	186
18/01/2024	14:00	8 263	8 346	30 188	29 992	21 646	10 000	11 646	2 071	186
18/01/2024	15:00	8 131	8 212	26 439	26 267	18 055	10 000	8 055	2 071	186
18/01/2024	16:00	7 953	8 033	20 179	20 048	12 015	10 000	2 015	2 071	186
18/01/2024	17:00	7 819	7 897	11 148	11 076	3 178	3 178	-	711	64
18/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
18/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
19/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	9:00	7 937	8 016	9 503	9 441	1 425	-	1 425	-	-
19/01/2024	10:00	8 255	8 338	19 010	18 886	10 549	10 000	549	2 071	186
19/01/2024	11:00	8 352	8 436	25 380	25 215	16 780	10 000	6 780	2 071	186
19/01/2024	12:00	8 317	8 400	29 262	29 072	20 672	10 000	10 672	2 071	186
19/01/2024	13:00	8 395	8 479	30 401	30 203	21 724	10 000	11 724	2 071	186
19/01/2024	14:00	8 263	8 346	29 396	29 205	20 859	10 000	10 859	2 071	186
19/01/2024	15:00	8 131	8 212	25 801	25 633	17 421	10 000	7 421	2 071	186
19/01/2024	16:00	7 953	8 033	19 868	19 739	11 706	10 000	1 706	2 071	186
19/01/2024	17:00	7 819	7 897	10 932	10 861	2 964	2 964	-	686	62
19/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
19/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 252	8 198	182	-	182	-	-
20/01/2024	10:00	8 255	8 338	17 380	17 267	8 929	8 929	-	1 877	169
20/01/2024	11:00	8 352	8 436	23 726	23 572	15 136	10 000	5 136	2 071	186
20/01/2024	12:00	8 317	8 400	27 172	26 995	18 595	10 000	8 595	2 071	186
20/01/2024	13:00	8 395	8 479	29 498	29 306	20 827	10 000	10 827	2 071	186
20/01/2024	14:00	8 263	8 346	27 959	27 777	19 432	10 000	9 432	2 071	186
20/01/2024	15:00	8 131	8 212	24 667	24 507	16 294	10 000	6 294	2 071	186
20/01/2024	16:00	7 953	8 033	18 426	18 306	10 274	10 000	274	2 071	186
20/01/2024	17:00	7 819	7 897	10 055	9 990	2 092	2 092	-	484	44
20/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
20/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
21/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 057	8 005	-	-	-	-	-
21/01/2024	10:00	8 255	8 338	17 703	17 588	9 250	9 250	-	1 923	173
21/01/2024	11:00	8 352	8 436	24 126	23 969	15 534	10 000	5 534	2 071	186
21/01/2024	12:00	8 317	8 400	28 136	27 953	19 553	10 000	9 553	2 071	186
21/01/2024	13:00	8 395	8 479	28 328	28 144	19 665	10 000	9 665	2 071	186
21/01/2024	14:00	8 263	8 346	25 689	25 522	17 176	10 000	7 176	2 071	186
21/01/2024	15:00	8 131	8 212	23 220	23 069	14 857	10 000	4 857	2 071	186
21/01/2024	16:00	7 953	8 033	17 465	17 351	9 319	9 319	-	1 938	174
21/01/2024	17:00	7 819	7 897	8 928	8 870	973	-	973	-	-
21/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	9:00	7 937	8 016	4 265	4 237	-	-	-	-	-
22/01/2024	10:00	8 255	8 338	13 024	12 939	4 602	4 602	-	1 007	91
22/01/2024	11:00	8 352	8 436	10 607	10 538	2 103	2 103	-	487	44
22/01/2024	12:00	8 317	8 400	13 912	13 822	5 421	5 421	-	1 173	105
22/01/2024	13:00	8 395	8 479	16 632	16 524	8 045	8 045	-	1 691	152
22/01/2024	14:00	8 263	8 346	7 660	7 610	-	-	-	-	-
22/01/2024	15:00	8 131	8 212	9 582	9 520	1 307	-	1 307	-	-
22/01/2024	16:00	7 953	8 033	7 932	7 880	-	-	-	-	-
22/01/2024	17:00	7 819	7 897	2 934	2 915	-	-	-	-	-
22/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
22/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
23/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	9:00	7 937	8 016	10 596	10 527	2 511	2 511	-	581	52
23/01/2024	10:00	8 255	8 338	20 265	20 133	11 796	10 000	1 796	2 071	186
23/01/2024	11:00	8 352	8 436	26 920	26 745	18 310	10 000	8 310	2 071	186
23/01/2024	12:00	8 317	8 400	30 735	30 535	22 135	10 000	12 135	2 071	186
23/01/2024	13:00	8 395	8 479	31 914	31 707	23 228	10 000	13 228	2 071	186
23/01/2024	14:00	8 263	8 346	30 796	30 596	22 250	10 000	12 250	2 071	186
23/01/2024	15:00	8 131	8 212	27 238	27 061	18 849	10 000	8 849	2 071	186
23/01/2024	16:00	7 953	8 033	21 420	21 281	13 248	10 000	3 248	2 071	186
23/01/2024	17:00	7 819	7 897	12 254	12 174	4 277	4 277	-	936	84
23/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
23/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	9:00	7 937	8 016	10 887	10 816	2 800	2 800	-	648	58
24/01/2024	10:00	8 255	8 338	20 912	20 776	12 439	10 000	2 439	2 071	186
24/01/2024	11:00	8 352	8 436	27 606	27 427	18 991	10 000	8 991	2 071	186
24/01/2024	12:00	8 317	8 400	31 451	31 247	22 846	10 000	12 846	2 071	186
24/01/2024	13:00	8 395	8 479	32 590	32 378	23 899	10 000	13 899	2 071	186
24/01/2024	14:00	8 263	8 346	31 568	31 363	23 017	10 000	13 017	2 071	186
24/01/2024	15:00	8 131	8 212	28 020	27 838	19 626	10 000	9 626	2 071	186
24/01/2024	16:00	7 953	8 033	21 989	21 846	13 814	10 000	3 814	2 071	186
24/01/2024	17:00	7 819	7 897	12 641	12 559	4 662	4 662	-	1 020	92
24/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
25/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	9:00	7 937	8 016	10 830	10 760	2 743	2 743	-	635	57
25/01/2024	10:00	8 255	8 338	20 552	20 418	12 081	10 000	2 081	2 071	186
25/01/2024	11:00	8 352	8 436	27 280	27 103	18 667	10 000	8 667	2 071	186
25/01/2024	12:00	8 317	8 400	31 139	30 937	22 536	10 000	12 536	2 071	186
25/01/2024	13:00	8 395	8 479	32 345	32 135	23 656	10 000	13 656	2 071	186
25/01/2024	14:00	8 263	8 346	31 218	31 015	22 669	10 000	12 669	2 071	186
25/01/2024	15:00	8 131	8 212	27 549	27 370	19 158	10 000	9 158	2 071	186
25/01/2024	16:00	7 953	8 033	21 353	21 214	13 182	10 000	3 182	2 071	186
25/01/2024	17:00	7 819	7 897	12 298	12 218	4 321	4 321	-	946	85
25/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	9:00	7 937	8 016	9 719	9 656	1 639	-	1 639	-	-
26/01/2024	10:00	8 255	8 338	19 413	19 287	10 949	10 000	949	2 071	186
26/01/2024	11:00	8 352	8 436	25 989	25 820	17 385	10 000	7 385	2 071	186
26/01/2024	12:00	8 317	8 400	29 848	29 654	21 254	10 000	11 254	2 071	186
26/01/2024	13:00	8 395	8 479	31 014	30 812	22 333	10 000	12 333	2 071	186
26/01/2024	14:00	8 263	8 346	30 011	29 816	21 470	10 000	11 470	2 071	186
26/01/2024	15:00	8 131	8 212	26 782	26 608	18 396	10 000	8 396	2 071	186
26/01/2024	16:00	7 953	8 033	20 825	20 690	12 657	10 000	2 657	2 071	186
26/01/2024	17:00	7 819	7 897	12 014	11 936	4 039	4 039	-	884	79
26/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
27/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	9:00	7 937	8 016	3 853	3 828	-	-	-	-	-
27/01/2024	10:00	8 255	8 338	9 357	9 296	959	-	959	-	-
27/01/2024	11:00	8 352	8 436	14 114	14 022	5 587	5 587	-	1 209	109
27/01/2024	12:00	8 317	8 400	19 006	18 882	10 482	10 000	482	2 071	186
27/01/2024	13:00	8 395	8 479	20 126	19 995	11 516	10 000	1 516	2 071	186
27/01/2024	14:00	8 263	8 346	19 209	19 084	10 739	10 000	739	2 071	186
27/01/2024	15:00	8 131	8 212	16 333	16 227	8 015	8 015	-	1 684	151
27/01/2024	16:00	7 953	8 033	9 508	9 446	1 414	-	1 414	-	-
27/01/2024	17:00	7 819	7 897	3 320	3 298	-	-	-	-	-
27/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
27/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 976	8 918	901	-	901	-	-
28/01/2024	10:00	8 255	8 338	17 240	17 128	8 790	8 790	-	1 847	166
28/01/2024	11:00	8 352	8 436	23 542	23 389	14 953	10 000	4 953	2 071	186
28/01/2024	12:00	8 317	8 400	27 181	27 004	18 604	10 000	8 604	2 071	186
28/01/2024	13:00	8 395	8 479	27 093	26 917	18 438	10 000	8 438	2 071	186
28/01/2024	14:00	8 263	8 346	26 008	25 839	17 493	10 000	7 493	2 071	186
28/01/2024	15:00	8 131	8 212	20 635	20 501	12 289	10 000	2 289	2 071	186
28/01/2024	16:00	7 953	8 033	15 083	14 985	6 952	6 952	-	1 490	134
28/01/2024	17:00	7 819	7 897	8 414	8 359	462	-	462	-	-
28/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
28/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
29/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	9:00	7 937	8 016	8 635	8 579	563	-	563	-	-
29/01/2024	10:00	8 255	8 338	17 728	17 613	9 275	9 275	-	1 929	173
29/01/2024	11:00	8 352	8 436	24 824	24 663	16 227	10 000	6 227	2 071	186
29/01/2024	12:00	8 317	8 400	28 299	28 115	19 715	10 000	9 715	2 071	186
29/01/2024	13:00	8 395	8 479	28 635	28 449	19 970	10 000	9 970	2 071	186
29/01/2024	14:00	8 263	8 346	27 365	27 187	18 841	10 000	8 841	2 071	186
29/01/2024	15:00	8 131	8 212	24 110	23 953	15 741	10 000	5 741	2 071	186
29/01/2024	16:00	7 953	8 033	16 626	16 518	8 485	8 485	-	1 783	160
29/01/2024	17:00	7 819	7 897	9 065	9 006	1 109	-	1 109	-	-
29/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
29/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	9:00	7 937	8 016	2 682	2 665	-	-	-	-	-
30/01/2024	10:00	8 255	8 338	6 510	6 468	-	-	-	-	-
30/01/2024	11:00	8 352	8 436	9 418	9 357	921	-	921	-	-
30/01/2024	12:00	8 317	8 400	11 304	11 231	2 830	2 830	-	655	59
30/01/2024	13:00	8 395	8 479	13 113	13 028	4 549	4 549	-	995	89
30/01/2024	14:00	8 263	8 346	12 184	12 105	3 759	3 759	-	841	76
30/01/2024	15:00	8 131	8 212	10 426	10 358	2 146	2 146	-	497	45
30/01/2024	16:00	7 953	8 033	5 532	5 496	-	-	-	-	-
30/01/2024	17:00	7 819	7 897	2 120	2 106	-	-	-	-	-
30/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
30/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

AÑO 2024		Tasa energía demanda vs 2023	101,00%	Tasa producción vs 2023	99,35%	Excedente energía tras cubrir demanda 2024 (kWh)	Electrolizador 10 MW		Rendimiento electrolizador vs 2023	99,40%
		Energía demandada 2024 (kWh)	63 146 998	Energía producida 2024 (kWh)	70 081 297	41 690 313	Energía para producir H <sub>2</sub> 2024 (kWh)	Energía disponible para venta 2024 (kWh)	Producción H <sub>2</sub> 2024 (kg)	487 682
		Potencia demandada 2023 (kW)	Potencia demandada 2024 (kW)	Potencia producida 2023 (kW)	Potencia producida 2024 (kW)	Excedente potencia (kW)	Potencia para producir H <sub>2</sub> (kW)	Potencia disponible para venta (kW)	Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>
31/01/2024	0:00	6 134	6 195	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	1:00	5 708	5 765	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	2:00	5 346	5 399	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	3:00	5 212	5 264	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	4:00	5 117	5 168	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	5:00	5 269	5 322	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	6:00	5 663	5 720	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	7:00	6 681	6 748	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	8:00	7 685	7 762	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	9:00	7 937	8 016	3 656	3 632	-	-	-	-	-
31/01/2024	10:00	8 255	8 338	11 603	11 528	3 190	3 190	-	713	64
31/01/2024	11:00	8 352	8 436	16 973	16 863	8 427	8 427	-	1 771	159
31/01/2024	12:00	8 317	8 400	16 837	16 728	8 327	8 327	-	1 750	157
31/01/2024	13:00	8 395	8 479	20 311	20 179	11 700	10 000	1 700	2 071	186
31/01/2024	14:00	8 263	8 346	19 408	19 282	10 936	10 000	936	2 071	186
31/01/2024	15:00	8 131	8 212	14 919	14 822	6 610	6 610	-	1 417	127
31/01/2024	16:00	7 953	8 033	9 147	9 088	1 055	-	1 055	-	-
31/01/2024	17:00	7 819	7 897	6 960	6 915	-	-	-	-	-
31/01/2024	18:00	7 987	8 067	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	19:00	8 378	8 462	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	20:00	8 600	8 686	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	21:00	8 689	8 776	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	22:00	8 009	8 089	-	-	-	-	-	-	-
31/01/2024	23:00	7 248	7 320	-	-	-	-	-	-	-

# ANEXO F: CATÁLOGO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO LAPESA

---

En este anexo se presenta el cálculo de los tanques de almacenamiento de la marca Lapesa elegidos para este proyecto.

# lapesa | Almacenamiento de **HIDRÓGENO** GAS

## TIPO DE DEPÓSITO

Depósito para almacenamiento a presión de hidrógeno comprimido en estado gas, a temperatura ambiente.

Cilíndrico, instalación horizontal o vertical, sin aislamiento térmico.

## DISEÑO

Presión máxima admisible (PS) hasta 40 bar (versión estándar).

Temperatura de trabajo: -20 °C - ambiente.

Homologado de acuerdo con la Directiva 2014/68/UE (Directiva Europea de Equipos a Presión).

## FABRICACIÓN

Fabricado en acero al carbono (otros materiales consultar), con los controles e inspecciones necesarios para un adecuado almacenamiento de H<sub>2</sub> gas.

Procesos de soldadura controlados para uso hidrógeno.

Fabricación de acuerdo a código.

Con tratamiento térmico específico para H<sub>2</sub>.

## CONTROL DE CALIDAD

Control de defectos internos del acero para su utilización con hidrógeno gas a presión.

Radiografiado 100% cuerpo del depósito.

Prueba de resistencia a la presión.

Resto de controles según código.

Se acompaña al depósito con su correspondiente Declaración de Conformidad UE.

## ACABADO EXTERIOR

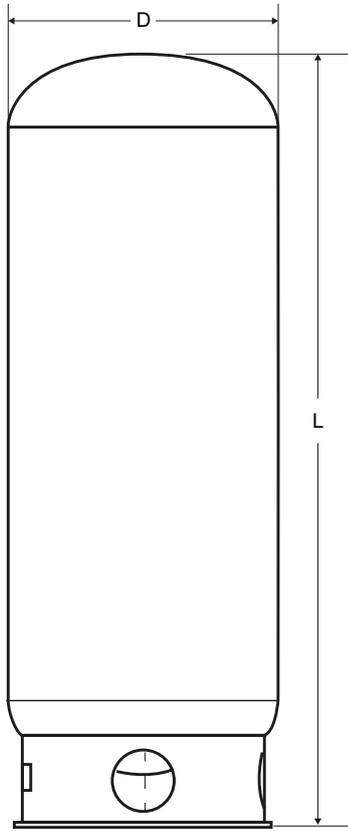
Superficie exterior decapada por granallado y protegida por dos manos de pintura: imprimación de alto poder anticorrosivo y exterior en poliuretano color blanco reflectante.

## EQUIPAMIENTOS

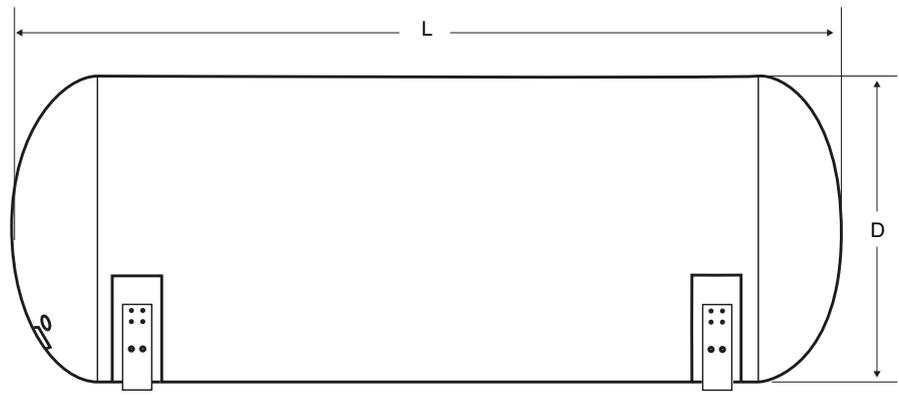
Las conexiones para equipos se pueden adaptar a las necesidades de cada cliente, previa definición en el momento de realizar el pedido.



# lapesa | Almacenamiento de **HIDRÓGENO** GAS



*Depósitos de diseño y fabricación específica para **HIDRÓGENO** GAS comprimido, destinados a estaciones de suministro de hidrógeno o uso industrial.*



## MODELOS Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

MODELOS HORIZONTALES	LH 10H	LH 25H	LH 50H	LH 100H	LH 145H	LH 200H
Volumen nominal (m <sup>3</sup> )	10	25	50	100	145	200
Diámetro exterior D (mm)	1.500	2.200	2.450	3.000	3.000	3.500
Longitud total L (mm)	5.950	7.350	11.550	15.350	21.850	22.300
Peso en vacío (Ton)	3,5	8,9	18,2	34,7	48,3	66,8
Peso contenido de H <sub>2</sub> (kg) <sup>1</sup>	36	90	180	360	522	720

MODELOS VERTICALES	LH 10V	LH 25V	LH 50V	LH 100V	LH 145V	LH 200V
Volumen nominal (m <sup>3</sup> )	10	25	50	100	145	200
Diámetro exterior D (mm)	1.500	2.200	2.450	3.000	3.000	3.500
Altura total L (mm)	6.300	7.850	12.000	15.850	22.350	22.800
Peso en vacío (Ton)	3,7	10,1	19,2	36	49,6	69
Peso contenido de H <sub>2</sub> (kg) <sup>1</sup>	36	90	180	360	522	720

(1) Peso del gas a 40 bar y 0°C.

# lapesa

lapesa.com

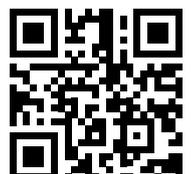


**Lapesa Grupo Empresarial, S.L.**

Pol. Industrial Malpica, Calle A, Parc. 1-A  
50016 - ZARAGOZA - ESPAÑA

Tel. 0034 976465180 / Fax 0034 976574393

e-mail: lapesa@lapesa.es \* www.lapesa.com



# ANEXO G: ANÁLISIS ECONÓMICO

---

En este anexo se presentan las tablas de cálculos económicos.

## ANÁLISIS ECONÓMICO

### CASO 1: VENDER TODO EL EXCEDENTE DE PRODUCCIÓN

Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Inflación	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Inflación acumulada	1,000	1,018	1,035	1,053	1,072	1,091	1,110	1,129	1,149	1,169	1,189	1,210	1,231	1,253	1,275	1,297	1,320	1,343	1,367	1,390

PÉRDIDAS Y GANANCIAS (€)																				
Ingresos de explotación	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Gastos de explotación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Amortizaciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBIT	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Beneficios antes impuestos	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Impuesto sociedades (30 %)	635 594	636 298	636 866	637 303	637 596	637 735	637 712	637 531	637 205	636 725	636 080	635 261	634 266	633 077	631 694	630 116	628 323	626 320	624 110	621 689
Resultado neto	1 483 053	1 484 696	1 486 021	1 487 040	1 487 724	1 488 049	1 487 996	1 487 572	1 486 812	1 485 692	1 484 187	1 482 275	1 479 953	1 477 179	1 473 954	1 470 270	1 466 087	1 461 413	1 456 256	1 450 607

CASH FLOW (€)																				
EBITDA	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF Previo impuestos	2 118 647	2 120 995	2 122 887	2 124 343	2 125 321	2 125 785	2 125 708	2 125 103	2 124 017	2 122 416	2 120 267	2 117 535	2 114 218	2 110 255	2 105 648	2 100 386	2 094 410	2 087 732	2 080 366	2 072 296
Impuestos	635 594	636 298	636 866	637 303	637 596	637 735	637 712	637 531	637 205	636 725	636 080	635 261	634 266	633 077	631 694	630 116	628 323	626 320	624 110	621 689
CF proyecto	1 483 053	1 484 696	1 486 021	1 487 040	1 487 724	1 488 049	1 487 996	1 487 572	1 486 812	1 485 692	1 484 187	1 482 275	1 479 953	1 477 179	1 473 954	1 470 270	1 466 087	1 461 413	1 456 256	1 450 607

Coste del capital	3,00%
VAN (€)	22 677 288

### CASO 2: EJECUTAR PLANTA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

PRECIO VENTA HIDRÓGENO	4,35 €/kg
------------------------	-----------

AÑO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Inflación	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Inflación acumulada	1,000	1,018	1,035	1,053	1,072	1,091	1,110	1,129	1,149	1,169	1,189	1,210	1,231	1,253	1,275	1,297	1,320	1,343	1,367	1,390

PÉRDIDAS Y GANANCIAS (€)																				
Ingresos de explotación																				
Venta H2	2 147 087	2 158 544	2 166 875	2 176 665	2 185 495	2 194 776	2 203 935	2 213 424	2 222 405	2 230 968	2 238 900	2 246 645	2 253 771	2 260 291	2 265 710	2 271 341	2 277 919	2 276 120	2 277 559	2 276 604
Venta electricidad	809 105	796 688	785 381	772 717	760 005	746 369	732 131	717 028	701 601	685 728	669 575	652 793	635 684	618 203	600 461	581 980	565 111	546 586	528 146	510 443
Gastos de explotación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBITDA	2 956 192	2 955 231	2 952 256	2 949 382	2 945 499	2 941 145	2 936 066	2 930 452	2 924 006	2 916 695	2 908 475	2 899 438	2 889 455	2 878 494	2 866 171	2 853 321	2 838 030	2 822 707	2 805 704	2 787 047
Amortizaciones	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000	548 000
EBIT	2 408 192	2 407 231	2 404 256	2 401 382	2 397 499	2 393 145	2 388 066	2 382 452	2 376 006	2 368 695	2 360 475	2 351 438	2 341 455	2 330 494	2 318 171	2 305 321	2 290 030	2 274 707	2 257 704	2 239 047
Beneficios antes impuestos	2 408 192	2 407 231	2 404 256	2 401 382	2 397 499	2 393 145	2 388 066	2 382 452	2 376 006	2 368 695	2 360 475	2 351 438	2 341 455	2 330 494	2 318 171	2 305 321	2 290 030	2 274 707	2 257 704	2 239 047
Impuesto sociedades (30 %)	722 458	722 169	721 277	720 415	719 250	717 943	716 420	714 736	712 802	710 609	708 143	705 431	702 437	699 148	695 451	691 596	687 009	682 412	677 311	671 714
Resultado neto	1 685 735	1 685 062	1 682 979	1 680 967	1 678 250	1 675 201	1 671 646	1 667 716	1 663 204	1 658 087	1 652 333	1 646 006	1 639 019	1 631 346	1 622 719	1 613 725	1 603 021	1 592 295	1 580 393	1 567 333

CASH FLOW (€)																				
EBITDA	2 956 192	2 955 231	2 952 256	2 949 382	2 945 499	2 941 145	2 936 066	2 930 452	2 924 006	2 916 695	2 908 475	2 899 438	2 889 455	2 878 494	2 866 171	2 853 321	2 838 030	2 822 707	2 805 704	2 787 047
Inversiones	10 960 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF Previo impuestos	- 8 003 808	2 955 231	2 952 256	2 949 382	2 945 499	2 941 145	2 936 066	2 930 452	2 924 006	2 916 695	2 908 475	2 899 438	2 889 455	2 878 494	2 866 171	2 853 321	2 838 030	2 822 707	2 805 704	2 787 047
Impuestos	722 458	722 169	721 277	720 415	719 250	717 943	716 420	714 736	712 802	710 609	708 143	705 431	702 437	699 148	695 451	691 596	687 009	682 412	677 311	671 714
CF proyecto	- 8 726 265	2 233 062	2 230 979	2 228 967	2 226 250	2 223 201	2 219 646	2 215 716	2 211 204	2 206 087	2 200 333	2 194 006	2 187 019	2 179 346	2 170 719	2 161 725	2 151 021	2 140 295	2 128 393	2 115 333

Coste del capital	3,00%
TIR	21,40%
VAN (€)	22 731 812

# REFERENCIAS

---

- [1] «Hoja de Ruta del Hidrógeno España: Una apuesta por el hidrógeno renovable,» Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Octubre 2020.
- [2] S. M. Nazir, J. H. Cloete, S. Cloete y S. Amini, «Efficient hydrogen production with CO<sub>2</sub> capture using gas switching reforming,» *Energy*, vol. 185, pp. 372-385, 2019.
- [3] C. Wang y Z.-q. Fu, «Evaluation of polarization and hydrogen production efficiency of solid oxide electrolysis stack with La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Co<sub>0.2</sub>Fe<sub>0.8</sub>O<sub>3-δ</sub>- Ce<sub>0.9</sub>Gd<sub>0.1</sub>O<sub>1.95</sub> oxygen electrode,» *International Journal of Hydrogen Energy*, p. 10, 2016.
- [4] C. Europea, «Develop and demonstrate a 100 MW electrolyser upscaling the link between renewables and commercial/industrial applications,» Comisión Europea, 27 agosto 2020. [En línea]. Available: [https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020\\_LC-GD-2-2-2020/es](https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_LC-GD-2-2-2020/es). [Último acceso: 5 febrero 2023].
- [5] C. Europea, «EU hydrogen policy,» abril 2021. [En línea]. Available: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689332/EPRS\\_BRI\(2021\)689332\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689332/EPRS_BRI(2021)689332_EN.pdf). [Último acceso: 3 febrero 2023].

# BIBLIOGRAFÍA

---

-SIEMENS, «Efficiency - Electrolysis,» 2021.

-ENEL, «Green Hydrogen Factbook».

-Fundación Naturgy, Hidrógeno Vector energético de una economía descarbonizada, Madrid: Fundación Naturgy, 2020.

-«Hoja de Ruta del Hidrógeno España: Una apuesta por el hidrógeno renovable,» Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Octubre 2020.

-AH2V BioBío, «Manual del hidrógeno verde,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.ah2vbiobio.cl/wp-content/themes/lms\\_mooc/assets/Manual\\_Del\\_Hidr%C3%B3geno\\_Verde\\_Ah2VBiob%C3%ADo.pdf](https://www.ah2vbiobio.cl/wp-content/themes/lms_mooc/assets/Manual_Del_Hidr%C3%B3geno_Verde_Ah2VBiob%C3%ADo.pdf).

-C. Europea, «Publicaciones de la comisión europea,» [En línea]. Available: [cordis.europa.eu](https://cordis.europa.eu).

-T. L. Hydrogen, «Blog The Lean Hydrogen,» [En línea]. Available: <https://leanhydrogen.com/blog/>.

-M. R. José Guadix y J. Muñuzuri, Organización y Gestión de Empresas, Sevilla: Iris-cop S.L., 2014.