

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MICRO  
GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE  
HIDRÓGENO VERDE SOLAR PARA UNA  
GRANJA AVÍCOLA UBICADA EL MUNICIPIO DE  
BITUIMA - CUNDINAMARCA**

Presentado para obtener el título de

**MAGÍSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Diego Alberto Álvarez Vera  
Daniel Felipe Aldana Mayorga

Dirección:  
Nelly Margareth Cantillo Cuello

Universidad del Rosario  
Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología Maestría en Energías Renovables.

## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a todas las personas que han estado a nuestro lado en este viaje. A nuestros seres queridos, quienes han sido un pilar fundamental en nuestras vidas, brindándonos su amor y aliento en cada paso del camino. A nuestros amigos y compañeros de maestría, con quienes compartimos experiencias valiosas y momentos de aprendizaje que han enriquecido nuestra formación. A nuestra universidad, por ofrecernos la oportunidad de crecer académicamente y por el ambiente propicio para el aprendizaje. Y a nuestros maestros, quienes con su dedicación y sabiduría han guiado nuestro desarrollo y nos han inspirado a alcanzar nuestras metas.

*“Porque solo los que no deciden hacer cambios en su vida son los que fracasan”*

## AGRADECIMIENTOS

Daniel Aldana.

Agradezco profundamente a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental que me ha sostenido y guiado hasta este momento. En especial, a mi madre, mi mayor inspiración y apoyo incondicional, a quien dedico este logro con todo mi corazón. También me permito agradecerme a mí mismo por la voluntad, dedicación y sacrificio, tanto personal como profesional y espiritual, que me han permitido alcanzar cada una de las metas que me he propuesto. Extiendo mi gratitud a quienes han compartido este camino profesional y académico: compañeros, jefes, docentes y todas las personas que, de una u otra forma, han contribuido a mi crecimiento intelectual y personal en este recorrido.

Diego Álvarez.

A Dios por permitirme cumplir con este objetivo, a mi familia por el apoyo brindado en el desarrollo de mi estudio de maestría, por sus consejos para la buena ejecución de las actividades requeridas para salir adelante con este nuevo objetivo personal, a mi novia que me motivó e impulsó día a día en la realización de esta maestría para crecer como persona y a mis compañeros en cada una de las materias recibidas y a mis amigos por sus valiosos comentarios y apoyo sin fin.

## RESUMEN

### Español

Este proyecto se enfoca en una granja avícola ubicada en el municipio de Bituima, en el departamento de Cundinamarca, con un consumo promedio de 3.400 kWh/mes. La operación de esta granja depende críticamente de un suministro eléctrico constante para sus sistemas de ventilación y alimenticios para las aves. La falta de energía que se da por los cortes en la red del SIN (Sistema Energético Nacional Colombiano), puede generar pérdidas económicas significativas debido a la mortalidad de las aves, por la falta de comida e hidratación, afectando la rentabilidad del negocio.

Para abordar esta problemática, y obtener una solución de generación de electricidad por medio de fuentes renovables, se realizan los cálculos, simulación y el diseño un sistema de micro generación de energía sostenible basado en un sistema fotovoltaico que permitirá por medio de un electrolizador la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis. El sistema tiene una capacidad instalada para suplir la demanda eléctrica requerida en la granja avícola, garantizando además un margen de crecimiento a futuro del 20%. Además, se evaluó la viabilidad técnica y financiera del proyecto, considerando las eficiencias y el desgaste de los componentes para optimizar la producción de hidrógeno.

La metodología empleada incluyó visitas técnicas para la caracterización del sitio, análisis del recurso solar con datos de Solargis, dimensionamiento del parque fotovoltaico y del sistema de electrólisis, simulaciones en PVSyst y un análisis financiero detallado. Los resultados muestran que, aunque la tecnología permite la autosuficiencia energética y reduce la dependencia de fuentes fósiles, la inversión inicial sigue siendo alta, afectando la rentabilidad a corto plazo. Sin embargo, con incentivos adecuados y reducción de costos tecnológicos, el sistema puede convertirse en una alternativa viable para el sector avícola.

El alcance del proyecto no solo busca garantizar la estabilidad energética de la granja, sino también contribuir a la sostenibilidad y competitividad del sector avícola en la región, alineándose con las estrategias nacionales de descarbonización y transición energética, dándole a las pequeñas empresas avícolas de la región una opción para la generación de electricidad por medio de energías renovables.

## ABSTRACT

### Inglés

This project focuses on a poultry farm located in the municipality of Bituima, in the department of Cundinamarca, with an average consumption of 3,400 kWh/month. The operation of this farm critically depends on a constant electrical supply for its ventilation and feeding systems for the birds. Power outages in the SIN (Colombian National Energy System) can cause significant economic losses due to bird mortality from lack of food and hydration, affecting the profitability of the business.

To address this issue and provide a solution for electricity generation through renewable sources, calculations, simulations, and the design of a sustainable micro-generation energy system based on a photovoltaic system were carried out. This system will enable the production of green hydrogen through electrolysis using an electrolyzer. The system has an installed capacity to meet the electrical demand required by the poultry farm, ensuring a future growth margin of 20%. Additionally, the technical and financial feasibility of the project was evaluated, considering the efficiencies and decreasing components to optimize hydrogen production.

The methodology employed included technical visits for site characterization, solar resource analysis with Solargis data, sizing of the photovoltaic park and the electrolysis system, simulations in PVSyst, and detailed financial analysis. The results show that, although technology allows for energy self-sufficiency and reduces dependence on fossil fuels, the initial investment remains high, affecting short-term profitability. However, with appropriate incentives and technological cost reductions, the system can become a viable alternative for the poultry sector.

The scope of the project not only aims to ensure the energy stability of the farm but also to contribute to the sustainability and competitiveness of the poultry sector in the region, aligning with national decarbonization and energy transition strategies, providing small poultry businesses in the region with an option for electricity generation through renewable energies.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Capítulo 1.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>15</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 Objetivo General.....	15
2.2    Objetivos específicos .....	15
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>16</b>
<b>PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>18</b>
<b>MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>18</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
4.1 Energía solar fotovoltaica .....	18
4.2 Hidrógeno .....	19
4.2.1 Hidrógeno Gris.....	20
4.2.2 Hidrógeno azul.....	21
4.2.3 Hidrógeno verde.....	21
4.3 Producción .....	23
4.4 Electrólisis.....	27
4.5 Electrolizadores.....	28
4.5.1 Electrolizadores alcalinos. ....	29
4.5.2 Electrolizadores poliméricos PEM. ....	31
4.5.3 Electrolizadores de oxido solido (SOEC).....	32
4.6 Celdas de Combustible .....	34
<b>ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>36</b>
4.10 Perspectiva mundial.....	38
4.11 Perspectiva en Colombia.....	39
<b>Capítulo 5.....</b>	<b>47</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>47</b>
<b>Capítulo 6.....</b>	<b>50</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
6.1 Visita técnica.....	50
6.2 Estimación del recurso solar. ....	53
6.3 Toma de datos de la granja avícola.....	55
6.4 Dimensionamiento de producción de hidrógeno .....	56

6.4.1 Selección de electrolizador .....	56
6.5 Dimensionamiento del parque solar.....	59
6.6 Simulación de generación de energía solar.....	63
6.6 Análisis de viabilidad financiera del proyecto.....	64
<b>Capítulo 7.....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Electrolisis alcalina convencional (Ideagreen, 2022) .....</i>	24
<i>Ilustración 2. Análisis comparativo de las tecnologías de electrolizadores (Guerra, 2019) .....</i>	28
<i>Ilustración 3. Componentes de un electrolizador alcalino (Guerra, 2019). .....</i>	29
<i>Ilustración 4. Componentes de un electrolizador polimérico (Guerra, 2019) .....</i>	31
<i>Ilustración 5. Sistema de electrolisis SOEC (Guerra, 2019).....</i>	33
<i>Ilustración 6. Evolución esperada de hidrógeno azul y gris en Colombia para el periodo 2020-2050 (MinisterioEnergía, 2021) .....</i>	42
<i>Ilustración 7. Evolución esperada de hidrógeno verde en Colombia para el periodo 2020-2050 (MinisterioEnergía, 2021). .....</i>	43
<i>Ilustración 8. Sistema de obtención de energía con producción de hidrógeno. (BlogMech, 2024) .....</i>	50
<i>Ilustración 9. Ubicación geográfica del proyecto (Bituima, 2024).....</i>	51
<i>Ilustración 10. Identificación de los galpones avícolas.....</i>	51
<i>Ilustración 11. Registro fotográfico e identificación conexión eléctrica. ....</i>	52
<i>Ilustración 12. Estimación de recurso solar. (IDEAM, 2021).....</i>	53
<i>Ilustración 13. Características equipo seleccionado. H2Vector. ....</i>	57
<i>Ilustración 14. Esquema energético propuesto para el proyecto de generación eléctrica por medio de un electrolizador tipo PEM. ....</i>	62

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Métodos de obtención de hidrogeno. (Cervera, 2021).....	26
Tabla 2. Tipos de células de combustible (U.S Department of Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2023).....	35
Tabla 3. Resumen datos Solargis Prospect.....	54
Tabla 4. Características principales equipo seleccionado. (NREL, 2023).....	58
Tabla 5. Simulación PVSyst resumen. Elaboración Propia.....	64
Tabla 6. CAPEX de proyecto granja avícola. Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 7. Resumen del coste nivelado de producción de hidrogeno. Fuente: Elaboración propia.....	66

## Capítulo 1

### INTRODUCCIÓN

En Colombia, especialmente en zonas rurales y pequeñas poblaciones, los cortes eléctricos son frecuentes debido tanto a la precariedad de la infraestructura existente como a la falta de cobertura en ciertas áreas. Las complejidades geográficas, como las zonas montañosas con baja densidad poblacional y grandes distancias entre los consumidores de energía, agravan esta situación, ya que el mantenimiento de estas redes para atender a pocos usuarios representa un reto financiero considerable para los Operadores de Red. Esta intermitencia en el suministro eléctrico afecta negativamente a los usuarios de estas redes, quien para este caso de estudio será la industria avícola, que para el municipio de Bituima actualmente no puede contar con una red eléctrica confiable, limitando la expansión de granjas avícolas que dependen de electricidad constante para la operación de sistemas de iluminación, ventilación y alimentación durante las 24 horas del día.

Como contexto nacional, la industria avícola colombiana se distribuye en 605 municipios y genera más de 500,000 empleos directos e indirectos. En los últimos años, ha mostrado un crecimiento sostenido, con una producción de más de 1.5 millones de toneladas de carne de pollo en 2020, posicionando a Colombia como el cuarto productor de carne de pollo en América Latina y el Caribe. Gracias a los avances en sanidad y calidad, los productos avícolas colombianos se han consolidado en mercados internacionales, con exportaciones de más de 70.000 toneladas de carne de pollo a destinos como México, Hong Kong y Angola en 2020. Este sector representa el 56% de la producción pecuaria del país y contribuye un 1,58% al PIB nacional (Fenavi, 2024), siendo un componente fundamental de la economía y la seguridad alimentaria. Sin embargo, la industria enfrenta desafíos operativos y financieros considerables debido a su alta dependencia de un suministro eléctrico confiable.

La intermitencia en el suministro de energía eléctrica genera impactos significativos en el sector avícola. Se estima que las interrupciones prolongadas pueden causar mortalidad masiva en las aves debido a la falta de ventilación y control de temperatura, lo que representa pérdidas económicas de hasta \$3.000 millones de pesos anuales en algunas regiones del país (Fenavi, 2023). Además, estas interrupciones elevan los costos operativos al obligar a las granjas a recurrir a fuentes de respaldo como generadores diésel, cuyo costo de operación puede ser hasta un 40% mayor en comparación con la energía de la red convencional. Adicionalmente, la inestabilidad energética limita la capacidad de expansión del sector, afectando la competitividad de los productores locales.

Ante esta problemática, surge la necesidad de implementar soluciones energéticas autosostenibles que mitiguen los efectos de la intermitencia eléctrica y garanticen un suministro continuo. Este proyecto propone el diseño de un sistema de micro generación de energía que a través de la producción de hidrogeno verde mediante electrolisis supla el 100% de las necesidades energéticas de la granja, con el objetivo de asegurar la estabilidad y confiabilidad del suministro constante de energía. A través de este enfoque, se busca no solo mejorar la eficiencia energética de la granja, sino también reducir su impacto ambiental y fortalecer la sostenibilidad del sector avícola en el país.

El presente proyecto de investigación se propone como respuesta a la intermitencia eléctrica en la industria avícola, mediante el diseño de un sistema autosostenible de generación de energía. Este sistema, basado en paneles solares y producción de hidrógeno verde mediante electrólisis, tiene como objetivo asegurar un suministro eléctrico continuo y ambientalmente sostenible, adecuado para atender los requerimientos de refrigeración, iluminación y otros procesos críticos de las granjas avícolas. Teniendo en cuenta que, la interrupción en el suministro eléctrico tiene un impacto económico significativo en la industria avícola y en las comunidades rurales que dependen de ella. La falta de electricidad durante largos períodos conlleva pérdidas económicas considerables (FENAVI - Federación Nacional de Avicultores de Colombia -, 2023).

Para el desarrollo de este proyecto se ha adoptado una metodología en múltiples fases. Inicialmente, se llevarán a cabo visitas técnicas para evaluar las condiciones geográficas y estructurales de la granja avícola, así como para identificar áreas aptas para la instalación del sistema. Se realizará un análisis de la radiación solar en la región tomando bases de datos de SOLARGIS, y se estimará el consumo energético de la granja. Además, se realizarán simulaciones con software especializado PVSYST. Posteriormente, se calcularán las dimensiones óptimas tanto para el sistema fotovoltaico como para el sistema de electrólisis, a fin de cumplir con los requisitos energéticos de la granja. Finalmente, se realizará un análisis de viabilidad financiera para evaluar la rentabilidad del proyecto. Los resultados indican que, aunque la implementación del sistema de generación con hidrógeno verde permite reducir la dependencia de fuentes fósiles y garantizar un suministro eléctrico estable, la inversión inicial representa un desafío significativo. El análisis financiero muestra que la tasa interna de retorno (TIR), es del -6%, lo que sugiere que la adopción de esta tecnología requiere incentivos económicos y optimización en los costos de producción para viabilizar este tipo de alternativas en el corto y mediano plazo.

En resumen, esta investigación aborda un problema crítico para la industria avícola colombiana y las zonas rurales del país. La implementación de un sistema de generación de energía autosostenible mediante tecnología solar fotovoltaica y producción de hidrógeno verde no solo proporciona una solución a la intermitencia en el suministro eléctrico, sino que además promueve la sostenibilidad, la competitividad y el desarrollo regional. Este proyecto invita a reflexionar sobre los beneficios de adoptar fuentes de energía renovables en sectores económicos clave y abre la puerta a una transición hacia prácticas agrícolas más resilientes y ambientalmente responsables.

## **Capítulo 2**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de micro generación de energía a partir de hidrógeno verde solar para una granja avícola ubicada el municipio de Bituima – Cundinamarca.

#### **2.2 Objetivos específicos**

Objetivo 1. Evaluar los requerimientos energéticos de una granja avícola ubicada en el municipio de Bituima-Cundinamarca

Objetivo 2. Diseñar un sistema de generación de energía basado en electrólisis e hidrógeno verde para el abastecimiento energético de una granja avícola en el municipio de Bituima – Cundinamarca, considerando la selección y dimensionamiento de tecnologías de electrólisis y celdas de combustible.

Objetivo 3. Evaluar la factibilidad económica y ambiental del sistema propuesto.

### Capítulo 3

#### PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El suministro eléctrico confiable es un factor clave para el desarrollo de las actividades productivas en cualquier sector económico. En Colombia, especialmente en las zonas rurales, la intermitencia en el servicio eléctrico representa un desafío significativo, afectando a sectores productivos que dependen de una fuente de energía continua. Esta problemática es particularmente crítica en la industria avícola, donde la interrupción del suministro eléctrico puede ocasionar graves pérdidas económicas y operativas.

A pesar de que el municipio de Bituima está integrado al Sistema Interconectado Nacional (SIN), no se puede garantizar un flujo eléctrico estable. De acuerdo con la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD, 2023), en el departamento de Cundinamarca el indicador SAIDI (duración promedio de interrupciones por usuario) alcanza las 9 horas anuales, mientras que el SAIFI (frecuencia de interrupciones) es de 8,1 veces al año. Para la industria avícola, esta situación es crítica, ya que la falta de electricidad interrumpe sistemas esenciales como la ventilación y el control térmico, lo que puede provocar la mortalidad de hasta un 30% de las aves en menos de 12 horas sin energía, generando pérdidas económicas estimadas en \$3.000 millones de pesos anuales.

Dado que las soluciones convencionales, como los generadores diésel, aumentan los costos operativos hasta en un 40% respecto a la energía de red, y generan un impacto ambiental negativo, es necesario evaluar alternativas de generación de energía que aseguren la estabilidad del suministro eléctrico y, al mismo tiempo, sean sostenibles.

Frente a esta necesidad, se hace indispensable explorar tecnologías de almacenamiento energético que permitan garantizar un suministro ininterrumpido. Aunque se ha planteado el uso de hidrógeno verde como una estrategia viable, este análisis no debe formar parte del planteamiento del problema, sino de la evaluación de soluciones dentro del desarrollo del estudio. Por lo tanto, este proyecto se centra en la identificación del impacto de la intermitencia del suministro eléctrico en la industria avícola y la necesidad de un sistema autosostenible que garantice una fuente de energía confiable, reduciendo la dependencia de fuentes fósiles y mejorando la viabilidad operativa de las granjas avícolas en Bituima, Cundinamarca.

## **Capítulo 4**

### **MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

Este capítulo aborda los conceptos y estudios con énfasis en la generación solar fotovoltaica y la producción de hidrógeno verde. En la primera sección, el marco teórico explora los fundamentos de estas tecnologías, mientras que en el estado del arte se analizan avances y casos recientes que sustentan la propuesta de un sistema autosostenible en el contexto mundial y nacional.

### **MARCO TEÓRICO**

#### **4.1 Energía solar fotovoltaica**

La energía solar es aquella que se obtiene directamente del sol. Este tipo de energía es renovable porque utiliza el sol como fuente, que en este caso actúa como una alternativa natural e inagotable.

La obtención directa de electricidad a partir de la luz se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico. La existencia de este fenómeno fue puesta de manifiesto por el físico Antoine Becquerel, en el año 1839. Para conseguirlo, se requiere un material que absorba la luz del Sol y sea capaz de transformar la energía radiante absorbida en energía eléctrica, justo lo que son capaces de hacer las células fotovoltaicas, estas convierten la luz solar en electricidad mediante el comportamiento de los materiales semiconductores. En estos materiales, los fotones de la luz solar

excitan a los electrones, permitiéndoles moverse desde la banda de valencia a la banda de conducción. (FENERCOM, 2007).

El silicio, uno de los materiales más abundantes en el planeta, es el material predominante para la fabricación de células fotovoltaicas, la mayoría de las células fotovoltaicas producidas en el mundo son de silicio cristalino (87,4%), incluyendo monocristalino y policristalino. Las células monocristalinas se fabrican con lingotes puros de silicio, mientras que las policristalinas se obtienen a partir de la refundición de piezas de silicio monocristalino, siendo más económicas, aunque menos eficientes.

Las nuevas tecnologías de capas delgadas, como las células de telurio de cadmio (CdTe) y las de seleniuro de cobre indio (CIS), son prometedoras por su potencial para reducir costos de producción. Sin embargo, las células de CdTe, que representan el 4,7% de la producción, enfrentan problemas de toxicidad, mientras que las de CIS, aunque más prometedoras, solo constituyen el 0,5% de la producción mundial. (IBERDROLA, Energías renovables para todos (SOLAR FOTOVOLTAICA), 2020).

Al final del año 2022 las energías renovables sumaron el 40% de la capacidad energética instalada a nivel mundial. La energía solar hoy en día representa la segunda fuente de energía renovable no convencional a nivel mundial, con un 13% de la producción mundial de energía (1034 TWh), con un crecimiento del 22,7% en este año. (IRENA, 2020).

## **4.2 Hidrógeno**

El hidrógeno es el elemento más abundante del universo, pero de forma natural solo se encuentra el hidrógeno geológico, sin embargo su disponibilidad es limitada, por lo cual, hay que producirlo. El hidrógeno puede producirse a partir de muy variados recursos, y para obtener

hidrógeno molecular ( $H_2$ ), es necesario extraerlo de los compuestos en los que se encuentra formando parte o combinado tales como: agua, hidrocarburos, biomasa, microorganismos. Para ello, se utilizan diversos procesos de transformación como electrólisis, gasificación, reformado, foto electrólisis, fotobiólisis, y otros. (Guerra, El hidrógeno como vector energético, 2019).

El hidrógeno producido es un vector energético, esto es, un producto que requiere de una aportación de energía para ser obtenido mediante diversos métodos que, interviniendo sobre compuestos, separan el elemento hidrógeno de otros elementos químicos como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, o el oxígeno (en el caso del agua), con los que forma dichos compuestos. Además, el hidrógeno cuenta con la particularidad de ser capaz de almacenar energía para, posteriormente, ser liberada de forma gradual cuando sea requerida (Cervera, Análisis de instalaciones de generación de hidrógeno media energía solar fotovoltaica, 2021).

En los últimos años, se ha utilizado un sistema de clasificación basado en colores para diferenciar el hidrógeno según su fuente de producción y su impacto ambiental. Sin embargo, recientemente organismos internacionales han comenzado a adoptar el término "hidrógeno de bajas emisiones" para referirse a cualquier tipo de hidrógeno cuya producción implique una reducción significativa de emisiones de  $CO_2$  en comparación con los métodos tradicionales basados en combustibles fósiles (International Energy Agency, 2023).

#### **4.2.1 Hidrógeno Gris**

El hidrógeno gris se caracteriza por utilizar como materia prima para su obtención combustibles fósiles, como es, por ejemplo, el gas natural u otros hidrocarburos ligeros (como metano). Además, en cuanto a la emisión de dióxido de carbono, esta se produce durante los distintos procesos de reformado o síntesis. Hoy en día, este es el tipo de hidrógeno más consumido en España y mayoritariamente en Europa. Según la Agencia Internacional de la Energía

actualmente se consumen en todo el mundo alrededor de unas 70 toneladas (Ton) de hidrógeno al año. El problema es que casi todo ese hidrógeno se produce a partir del carbón o el gas natural, es decir, se obtiene mediante las técnicas más contaminantes para el planeta. Menos del 1% de la producción mundial de este hidrógeno se basa en electrólisis de agua por energías renovables: solo el 0,1% del hidrógeno que consumimos es verde. (ACCIONA, 2021) La principal materia prima utilizada en la producción de este tipo de hidrógeno es el gas natural (Sánchez, 2023).

#### **4.2.2 Hidrógeno azul**

El hidrógeno azul o “hidrógeno bajo en carbono” se obtiene a partir del gas natural. Sin embargo, la principal diferencia respecto al hidrógeno gris radica en que, durante el proceso de separación fisicoquímica del gas natural en hidrógeno y dióxido de carbono, por medio del reformado con vapor (Steam Methane Reforming, SMR), en donde, el gas natural (principalmente metano,  $\text{CH}_4$ , se mezcla con vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y se calienta a altas temperaturas ( $700\text{-}1000^\circ\text{C}$ ) en presencia de un catalizador, donde el dióxido de carbono se captura y almacena (Sánchez, 2023).

#### **4.2.3 Hidrógeno verde**

El hidrógeno verde o “hidrógeno renovable” se produce mediante la división de la molécula de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en hidrógeno y oxígeno empleando un proceso de electrólisis y utilizando como fuente de energía la electricidad procedente de energías renovables.

Además, esta definición implica que la obtención de este tipo de hidrógeno tendrá muy poco impacto al medio ambiente al no emitir del dióxido de carbono a la atmósfera. Inicialmente el concepto de hidrógeno verde se asociaba al hidrógeno obtenido a través del proceso de

electrólisis del agua mediante el uso exclusivo de la energía eléctrica procedente de fuentes renovables. Sin embargo, hoy en día en Europa se está debatiendo el considerar también como hidrógeno verde el procedente de otras fuentes de energía que no siendo consideraras energías renovables tampoco emiten dióxido de carbono, como es el caso de la energía nuclear. (MinisterioEnergía, 2021).

La producción de hidrógeno verde presenta una serie de ventajas y desventajas. La principal ventaja es que su producción no impacta al medio ambiente al emplear como fuente de energía eléctrica las energías renovables. La principal desventaja o aspecto negativo es que el proceso de electrólisis requiere un alto consumo de energía eléctrica. En particular, requiere más energía que la requerida en otros procesos de producción de hidrógeno. Por lo tanto, el coste de generación de hidrógeno verde es fuertemente dependiente de la evolución del precio de la electricidad y por ello, el principal inconveniente se encuentra en el coste de producción, aunque éste está tendiendo a reducirse poco a poco a medida que aumenta la participación de fuentes renovables en el mercado eléctrico. (MinisterioEnergía, 2021).

Además de los tres tipos de hidrógenos indicados anteriormente, existen otros que, por su complejidad a la hora de cuantificar su impacto ambiental, muchas veces no se incluyen en la clasificación anterior o directamente se incluyen dentro de alguno de los tres tipos. Estos son (Sánchez, 2023):

- El hidrógeno negro. Es aquel generado a partir del carbón y a veces se incluye dentro del hidrógeno gris por englobar a todos los combustibles fósiles.
- El hidrógeno marrón. Es aquel que se obtiene a partir de lignito, que es un tipo de carbón, y al igual que ocurre con el hidrógeno negro, a veces se incluye dentro de la categoría del hidrógeno gris.

- El hidrógeno turquesa. Este tipo de hidrógeno es el obtenido a partir de la pirolisis del gas natural y a veces se incluye como un subtipo dentro del hidrógeno azul.
- El hidrógeno rosa. Producido a partir de la electrólisis de agua mediante energía nuclear (Ministerio Energía, 2021).

En lo que se refiere a métodos de producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables, y ligado a la implantación masiva de plantas de generación de energía renovable que se están implementando a nivel mundial, la electrólisis del agua es el método de producción más adecuado y el que más interés está despertando por parte de las industrias y las administraciones de los diferentes países a nivel mundial (Guerra, 2019).

### 4.3 Producción

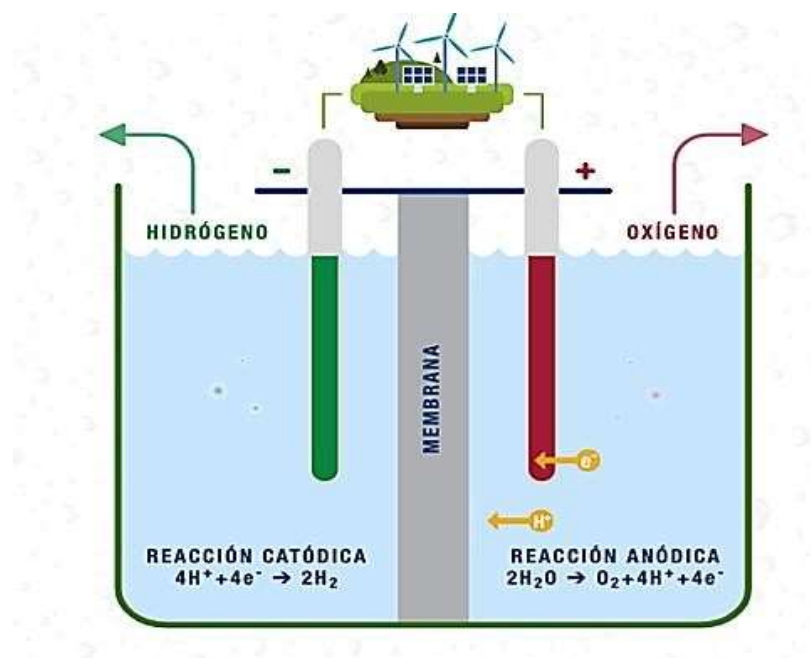
La cadena de valor del hidrógeno se inicia con la etapa de producción. Atendiendo a la clasificación ambiental se pueden distinguir varias tecnologías para la obtención de hidrógeno en función de la materia prima utilizada:

- Hidrógeno producido a partir de energía eléctrica renovable.

El método de producción más empleado es la electrólisis. La electrólisis se define como el proceso por el cual, por medio de electricidad, se separan o disocian los elementos que constituyen un determinado compuesto. En este caso concreto, la electrólisis se lleva a cabo sobre la molécula de agua ( $H_2O$ ), disociándola en oxígeno e hidrógeno en estado de gas.

Todo este proceso es posible debido a un dispositivo denominado electrolizador, el cual permite separar las moléculas de agua en los distintos átomos que las componen. El electrolizador está compuesto por un par de electrodos separados por una membrana, a los cuales se les aplica un

elevado voltaje e intensidad con la finalidad de generar una corriente eléctrica en la molécula de agua que provoque la separación del hidrógeno y del oxígeno tal como se puede evidenciar en la Ilustración 1. Tras este proceso, por un lado, el oxígeno generado se libera a la atmósfera o se almacena para ser de utilidad posterior, y, por otro lado, el hidrógeno se almacena como gas o se licua para ser usado, por ejemplo, en la industria. (Sánchez, 2023).



*Ilustración 1. Electrolisis alcalina convencional (Ideagreen, 2022)*

Existen distintos tipos de electrolizadores, los cuales pueden ser seleccionados atendiendo a su coste, a la tecnología empleada y en función de la utilidad final que se le vaya a dar al hidrógeno obtenido.

Además de la técnica de electrólisis, existen otros métodos para la producción de hidrógeno a partir de energías renovables, los cuales han sido objeto de investigación y desarrollo en los últimos años.

Uno de estos métodos es la **termólisis**, que consiste en la descomposición térmica del agua a temperaturas superiores a los 2.500 °C, utilizando energía solar concentrada o reactores nucleares de alta temperatura (Fujishima & Honda, 2012). A pesar de su potencial, este proceso enfrenta desafíos técnicos debido a la necesidad de materiales resistentes a temperaturas extremas y a las dificultades en la separación eficiente de los productos generados.

Otro enfoque para la producción de hidrógeno es el proceso fotoelectroquímico (PEC), el cual utiliza materiales semiconductores para dividir el agua mediante la absorción de luz solar. Esta tecnología fue desarrollada inicialmente por Fujishima y Honda en la década de 1970 y ha evolucionado significativamente con la incorporación de fotocatalizadores avanzados. Entre ellos se encuentran los óxidos metálicos y materiales basados en perovskitas, los cuales han mejorado la eficiencia del proceso al incrementar la capacidad de absorción y conversión de la energía solar en hidrógeno (Walter et al., 2010).

Asimismo, la **fotobiología del hidrógeno** es un área en crecimiento que explora la capacidad de ciertos microorganismos, como algas y bacterias, para producir hidrógeno a partir de la luz solar y la actividad enzimática. Este método es objeto de estudio en la biotecnología energética debido a su potencial para producir hidrógeno de manera sostenible y con bajas emisiones de carbono (Ghirardi et al., 2000).

En general, aunque la electrólisis es actualmente la tecnología más madura y utilizada para la producción de hidrógeno renovable, estas alternativas representan enfoques prometedores para la generación de hidrógeno con menor huella ambiental. Sin embargo, su implementación a escala comercial aún requiere avances en eficiencia, reducción de costos y optimización de materiales (IEA, 2023).

- Hidrógeno producido a partir de combustibles con carbono (gas natural o biogás).

Las tecnologías que emplean combustibles con base de carbono para la producción de hidrógeno conllevan siempre, en mayor o menor medida, la emisión de CO<sub>2</sub>. A esta categoría pertenecen métodos como el reformado de vapor o Steam Methane Reforming (SMR), la oxidación parcial o Partial Oxidation (POX) o el reformado autotérmico o Autothermal reforming (Sánchez, 2023).

Para concluir este apartado se muestra en la Tabla 1, se muestra un resumen de los diferentes procesos de producción de hidrógeno atendiendo al método seguido y la materia prima utilizada:

<b>Método</b>	<b>Proceso</b>	<b>Materia prima</b>
Térmico	Reformado con vapor	Gas natural
	Termólisis	Agua
	Pirólisis	Biomasa / Gas natural
	Gasificación	Biomasa / Carbón
Electroquímico	Electrólisis	Agua
	Fotoelectroquímico	Agua
Biológico	Fotobiológico	Agua y algas
	Fermentación	Productos / Bacterias
	Digestión anaerobia	Biomasa

*Tabla 1. Métodos de obtención de hidrogeno. (Cervera, 2021)*

#### 4.4 Electrólisis

Es un proceso electroquímico por el cual, a partir de electricidad, se obtiene hidrógeno y oxígeno a través de la descomposición de la molécula de agua (aplicar corriente eléctrica a una disolución acuosa para romper la molécula del agua). Su principal gran ventaja es la viabilidad del proceso a largo plazo, ya que cualquier fuente de energía puede valer, o mejor dicho existen ya procesos para obtener hidrógeno a partir de cualquier fuente de energía (renovable y no renovable) y agua. Su importancia generalizada frente al resto de tecnologías de producción de hidrógeno renovables se debe principalmente a (Guerra, 2019):

- Utiliza electricidad como fuente primaria para la ruptura de la molécula de agua, disponiendo de una gran flexibilidad para ser integrada con las distintas instalaciones de producción de energías renovables.
- La electrólisis tiene la capacidad de operar en cargas parciales y variar la carga de forma muy rápida, lo que ofrece una gran flexibilidad para acoplarse con las instalaciones de producción de energías renovables.
- Los electrolizadores están compuestos de sistemas modulares que permiten su fácil escalado desde bajas hacia altas potencias, por lo que puede ser utilizado tanto para producción centralizada como descentralizada.
- Posibilidad de uso como parte de un sistema de almacenamiento de energía en forma de hidrógeno, permitiendo la gestión óptima de micro redes y redes inteligentes.
- El hidrógeno producido es de alta pureza y apto para el uso en todas las aplicaciones, incluidas las de célula de combustible; el cual es un dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en eléctrica (Hidrógeno, 2024).
- Se trata de una tecnología disponible en el mercado con costos aceptables y eficiencias mayores que el resto de las tecnologías en desarrollo (Guerra, 2019).

## 4.5 Electrolizadores.

Es un equipo que permite producir hidrógeno mediante un proceso químico (electrólisis) capaz de separar las moléculas de hidrógeno y oxígeno de las que se compone el agua usando electricidad. El hidrógeno producido de esta forma sostenible, es decir, sin emitir dióxido de carbono a la atmósfera. En función de la temperatura de operación, la electrólisis se puede realizar a baja temperatura, a través de electrolizadores alcalinos (Alkaline Water Electrolysis, AWE), o de membrana de intercambio protónico (Proton Exchange Membrane Water Electrolysis, PEMWE), o a alta temperatura, empleando para ello electrolizadores de óxido sólido (Solid Oxide Water Electrolysis, SOWE). Esto se puede explicar mejor en la Ilustración 2.

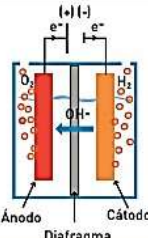
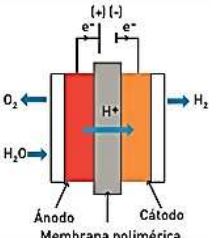
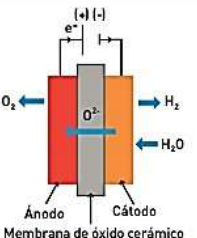
	ELECTRÓLISIS ALCALINA	ELECTRÓLISIS PEM	ELECTRÓLISIS SOEC
Temperatura (°C)	60 - 85	40 - 80	800 - 1000
Presión (bar)	< 30	< 35	1 - 5
Consumo energético. (kWh/Nm <sup>3</sup> de H <sub>2</sub> )	4.3 - 5.0	4.2 - 4.7	3.2 - 3.7
Costo (€/kW)	1000 - 1500	1500 - 2000	Prototipos
Eficiencia global	60 - 70 %	70 - 80 %	85 - 95 %
Vida útil (horas)	> 100000	10000 - 50000	En investigación
Ventajas	Tecnología bien probada y desarrollada comercialmente. Es el tipo de electrólisis de mayor durabilidad y menor costo	Electrolito sólido. Alta presión de los gases de salida. Puede trabajar a elevadas densidades de corriente	Electrolito sólido. Alta presión de los gases de salida. Bajo consumo de electricidad. Menor exigencia en la calidad del agua.
Inconvenientes	Electrolito líquido corrosivo. Baja presión de los gases de salida y necesario una etapa de purificación posterior del H <sub>2</sub>	Elevados costos de los catalizadores y de las membranas. Gran exigencia en el agua de alimentación	Limitada vida debido a los ciclos térmicos. Limitaciones en las aplicaciones debido a las temperaturas de operación
Esquema			

Ilustración 2. Análisis comparativo de las tecnologías de electrolizadores (Guerra, 2019)

### 4.5.1 Electrolizadores alcalinos.

Funciona mediante la ruptura de la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno utilizando electricidad, donde se utiliza una solución alcalina, típicamente hidróxido de potasio (KOH). Este dispositivo consta de varios subsistemas que trabajan en conjunto para realizar este proceso de manera eficiente y segura. La Ilustración 3 muestra cómo es y de que está compuesto el electrolizador alcalino.

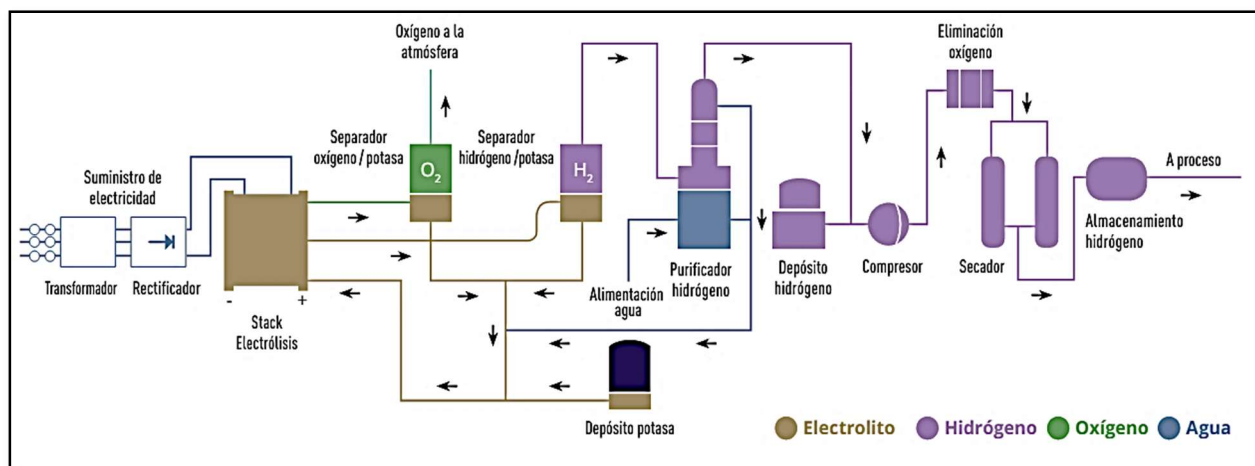


Ilustración 3. Componentes de un electrolizador alcalino (Guerra, 2019).

Además, para garantizar su funcionamiento óptimo, se necesitan varios equipos y sistemas, conocidos como balance de planta (BoP). Un electrolizador alcalino se compone principalmente de los siguientes subsistemas:

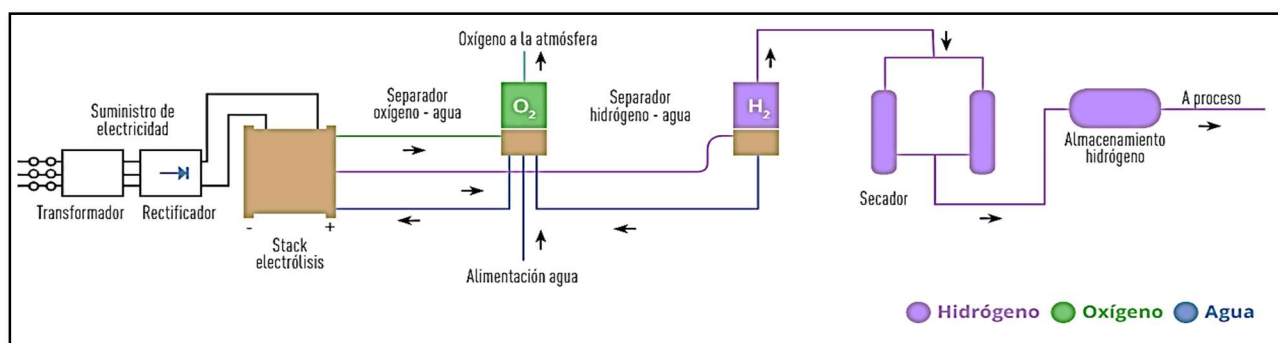
- Sistema de producción de gases: Aquí se realiza la electrólisis del agua en el stack, generando burbujas de oxígeno e hidrógeno.
- Sistema de separación de gases: Los gases generados en el stack se separan del electrolito en depósitos separadores y se dirigen a la etapa de purificación y secado.

- Sistema de eliminación de arrastre de electrolito y secado de corrientes: Se eliminan los electrolitos arrastrados por corrientes gaseosas y se seca el gas restante.
- Sistema de purificación y secado: Se utiliza un reactor de-oxo con un catalizador de paladio para eliminar impurezas de oxígeno arrastradas.
- Sistema de agua desionizada: Se suministra agua desionizada para reponer la consumida en el stack, manteniendo la pureza necesaria para evitar la contaminación.
- Sistema de gestión térmica: Se utiliza un sistema de refrigeración para mantener la temperatura del stack dentro de los límites óptimos y evitar la degradación de sus componentes.
- Sistema de control de presión: Se retiene el oxígeno e hidrógeno producidos para mantener la presión dentro de los valores requeridos.
- Sistema de monitorización y control: Se adquiere información de sensores y se realizan acciones para garantizar el funcionamiento seguro y adecuado del sistema.
- Sistema de electrónica de potencia: Se incorpora la electrónica necesaria para garantizar que la energía eléctrica suministrada al stack esté dentro de los rangos adecuados.

Aunque la electrólisis alcalina es una tecnología madura con ventajas como durabilidad, disponibilidad y bajos costos específicos, también presenta desafíos como la necesidad de sistemas de purificación complejos y el uso de electrolitos corrosivos. (Guerra, 2019).

#### 4.5.2 Electrolizadores poliméricos PEM.

Un electrolizador polimérico es otro tipo de dispositivo utilizado en el proceso de electrólisis, donde se utilizan membranas poliméricas como electrolito, como el Nafion. En la Ilustración 4 se muestra el detalle del electrolizador polimérico.



*Ilustración 4. Componentes de un electrolizador polimérico (Guerra, 2019)*

Para el correcto funcionamiento del stack, que es donde ocurre la ruptura de la molécula de agua, se requieren sistemas auxiliares para controlar los parámetros de operación, maximizar la eficiencia y garantizar la seguridad. Estos elementos forman parte del balance de planta (BoP) y comprenden:

- Sistema de acondicionamiento de la energía eléctrica: Aporta y acondiciona la electricidad que llega al stack para llevar a cabo la electrólisis en condiciones óptimas.
- Sistema de alimentación de agua: Suministra y controla el flujo de agua al stack, purificando el agua de red hasta alcanzar conductividades por debajo de  $2\mu\text{S}/\text{cm}^2$ .

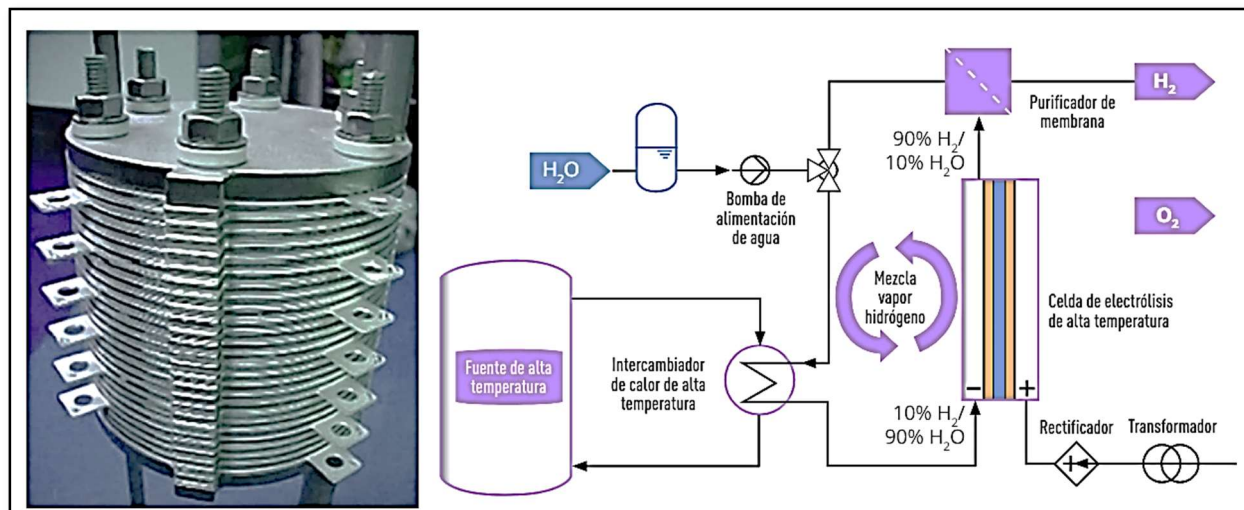
- Sistema de gestión de productos o purificación de gases: Incluye las líneas de gases (H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) con el objetivo de purificar las corrientes gaseosas y controlar la presión.
- Sistema de monitorización y control: Utiliza sensores para informar sobre el estado de la celda y suministra información a los actuadores del sistema. Estos sistemas trabajan en conjunto para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del electrolizador polimérico.

La eficiencia de los electrolizadores poliméricos ha mejorado progresivamente desde 2010, reflejando una tendencia descendente en el consumo energético en todo el sistema. Sin embargo, la degradación en voltaje afecta la eficiencia del electrolizador, con una durabilidad reportada de alrededor de 75.000 horas de operación.

Existen varios fabricantes que ofrecen electrolizadores PEM a costos razonables, con eficiencias y vida útil adecuadas a los usos actuales. Por ejemplo, el modelo M4000 de Nel Hydrogen, capaz de producir hasta 360 kg de hidrógeno por hora o 8.640 kg al día, requiere 18 MW/h y 434 MWh/día para su funcionamiento (Guerra, 2019).

#### **4.5.3 Electrolizadores de oxido solido (SOEC)**

Son dispositivos que utilizan energía térmica y de eléctrica para dividir el agua. En la Ilustración 5, se muestra un ejemplo de un electrolizador SOEC y un esquema de su funcionamiento:



*Ilustración 5. Sistema de electrólisis SOEC (Guerra, 2019)*

Este tipo de electrolizador opera a temperaturas más altas (entre 600-1000 °C), lo que aumenta su eficiencia. Sin embargo, requiere vapor de agua y una fuente térmica de alta temperatura para llevar a cabo el proceso, lo que puede limitar su aplicabilidad en algunas situaciones.

Una ventaja clave de los electrolizadores SOEC es el uso de un electrolito sólido que no es corrosivo y no presenta problemas relacionados con la distribución líquido/gas, como ocurre en los sistemas alcalinos. Además, a estas temperaturas elevadas, se necesita otro tipo de electrocatalizadores, lo que permite prescindir del uso de metales preciosos como catalizadores.

Aunque los electrolizadores SOEC son los más eficientes eléctricamente, su tecnología presenta un grado de desarrollo menor. Los desafíos incluyen el uso de altas temperaturas, que requieren materiales costosos y métodos de fabricación complejos. Los diferentes coeficientes de dilatación térmica de los componentes y la fragilidad de estos debido a su delgadez complican aún más su ensamblaje.

A pesar de estos desafíos, los electrolizadores SOEC tienen un gran potencial para la producción de hidrógeno aprovechando energías térmicas provenientes de diversas fuentes, como centrales de concentración solar, geotermia o reactores nucleares. Sin embargo, se necesitan investigaciones adicionales para optimizar materiales, componentes y sistemas antes de su despliegue comercial (Guerra, 2019).

#### 4.6 Celdas de Combustible

Las tecnologías de **celdas de combustible** suelen clasificarse según el tipo de electrolito utilizado en su estructura. Este electrolito determina la reacción electroquímica que ocurre en la celda, el tipo de catalizador requerido, el rango de temperatura de operación, el combustible necesario y otros factores clave.

Las **celdas de combustible** pueden dividirse en dos grandes categorías según su temperatura de funcionamiento:

- **Celdas de baja temperatura**, que operan entre 60 °C y 250 °C y suelen utilizar membranas poliméricas o electrolitos líquidos, como las celdas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC) y las celdas de ácido fosfórico (PAFC).
- **Celdas de alta temperatura**, que trabajan en un rango de 500 °C a 1.000 °C, empleando electrolitos cerámicos sólidos, como las celdas de óxido sólido (SOFC) y las celdas de carbonato fundido (MCFC).

Cada tipo de celda presenta ventajas y desafíos en términos de eficiencia, costos de producción y aplicaciones industriales. Mientras que las celdas de baja temperatura son ideales para movilidad y generación distribuida, las de alta temperatura ofrecen mayor eficiencia y mejor aprovechamiento del calor residual en aplicaciones estacionarias (U.S. Department of Energy, 2023). Este resumen se puede evidenciar en la Tabla 2 .

Tipo de Pila de Combustible	Electrólito común	Temperatura de operación	Capacidad típica (Almacenamiento)	Eficiencia eléctrica (VLH)	Aplicaciones	Ventajas	Desafíos
<b>Polímero Electrólito Membrana (PEM)</b>	Ácido perfluorosulfónico	< 120 ° C	< 1kW- 100kW	60% directo H2 40% combustible reformado	*Energía de respaldo *Energía portátil *Generación distribuida *Transporte *Vehículos especiales	* El electrolito sólido reduce la corrosión y los problemas de gestión del electrolito. *Baja temperatura *Inicio rápido y seguimiento de carga.	*Catalizadores costosos. *Sensible a las impurezas del combustible.
<b>Alcalino (AFC)</b>	Potasio acuoso Empapado en hidróxido en una matriz porosa o embebido en una membrana de polímero alcalino.	< 100 ° C	1 - 100 kW	60%	*Militar *Espacio *Energía de respaldo *Transporte	*Una gama más amplia de materiales estables permite componentes de menor costo. *Baja temperatura. *Inicio rápido	*Sensible al CO2 en combustible y aire. *Gestión de electrolitos (acuosos). *Conductividad electrolítica (polímero).
<b>Fosfórico Ácido</b>	Ácido fosfórico Empapado en una matriz porosa o embebido en una membrana de polímero.	150 - 200 ° C	5 - 400kW Módulo de 100 kW (PACF líquido) < 10kW (membrana de polímero)	40%	*Generación distribuida	*Adecuado para cogeneración. *Mayor tolerancia a las impurezas del combustible.	*Catalizadores costosos. *Largo tiempo de arranque. *Sensibilidad al azufre.
<b>Fundido Carbonato (MCFC-F)</b>	Litio, sodio y/o potasio fundidos Carbonatos, empapados en una matriz porosa.	600 - 700 ° C	300 kW - 3MW Módulo de 300 kW	50%	*Empresa de servicios públicos de electricidad *Generación distribuida	*Alta eficiencia. *Flexibilidad de combustible. *Adecuado para cogeneración. *Ciclo híbrido/turbina de gas.	*Corrosión a alta temperatura y descomposición de los componentes de los componentes de la celda. *Largo tiempo de arranque. *Baja densidad de potencia.
<b>Sólido Óxido (CFE)</b>	Itria estabilizada circonita	500 - 1000 ° C	1 kW - 2MW	60%	*Energía auxiliar *Empresa de servicios públicos de electricidad *Generación distribuida	*Alta eficiencia. *Flexibilidad de combustible. *Electrolito sólido. *Adecuado para cogeneración. *Ciclo híbrido/turbina de gas.	*Corrosión a alta temperatura y descomposición de los componentes de los componentes de la celda. *Largo tiempo de arranque. *Número limitado de paradas.

Tabla 2. Tipos de celdas de combustible. Adaptada de (U.S Department of Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2023)

## ESTADO DEL ARTE

El sector avícola enfrenta desafíos energéticos significativos debido a su alta dependencia de un suministro eléctrico estable para garantizar la operación de sistemas de ventilación, iluminación y alimentación. En respuesta a estas necesidades, diversas soluciones energéticas han sido exploradas e implementadas a nivel global, incluyendo sistemas basados en energía solar fotovoltaica, biogás y energía eólica.

### 4.7 Energía Solar Fotovoltaica en Granjas Avícolas

La energía solar ha sido una de las tecnologías más adoptadas en la industria avícola debido a su disponibilidad y la reducción progresiva de costos en los sistemas fotovoltaicos. Estudios como el de **Aygun et al. (2021)** han demostrado que la implementación de paneles solares en techos de galpones avícolas puede cubrir hasta el 70% de la demanda energética en regiones con alta irradiación solar. En Brasil, un proyecto piloto implementado por la **Embrapa Suínos e Aves (2020)** evidenció que una instalación fotovoltaica con baterías de respaldo redujo en un 40% los costos energéticos de una granja, mejorando la sostenibilidad operativa.

No obstante, la principal limitación de la energía solar es su dependencia de la disponibilidad de luz solar, lo que requiere sistemas de almacenamiento o soluciones híbridas para garantizar suministro continuo durante la noche o en días nublados.

### 4.8 Uso de Biogás en Granjas Avícolas

El biogás es una alternativa viable en el contexto avícola, ya que permite aprovechar los residuos orgánicos generados en las granjas, reduciendo costos energéticos y minimizando el impacto ambiental. Un estudio de **Cheng et al. (2019)** en China evaluó el uso de biodigestores en granjas avícolas y encontró que la producción de biogás a partir de excrementos de aves puede abastecer hasta el 60% de la demanda energética de la granja, con una reducción del 35% en las emisiones de gases de efecto invernadero.

En Colombia, la Universidad Nacional (2022) llevó a cabo un análisis en el que se determinó que el biogás generado en granjas avícolas puede ser utilizado para alimentar generadores eléctricos, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y mejorando la autosuficiencia energética. Sin embargo, la implementación de esta tecnología requiere inversiones iniciales significativas y un manejo adecuado del sistema de digestión anaerobia.

#### **4.9 Energía Eólica en el Sector Avícola**

El uso de energía eólica en granjas avícolas ha sido menos común que la energía solar y el biogás, debido a la necesidad de ubicaciones con vientos constantes y velocidades adecuadas. No obstante, estudios como el de **García et al. (2020)** en España han explorado la viabilidad de turbinas eólicas de pequeña escala para el suministro energético de granjas avícolas en zonas rurales. Sus resultados indican que, en regiones con velocidades de viento superiores a 6 m/s, la energía eólica puede complementar sistemas solares y reducir costos operativos hasta en un 30%.

En América Latina, la adopción de esta tecnología ha sido limitada debido a la falta de infraestructura y a los costos asociados a la instalación y mantenimiento de aerogeneradores en zonas rurales.

Si bien las tecnologías mencionadas han demostrado ser efectivas en diversos contextos, en el caso específico de la granja avícola en Bituima, Cundinamarca, la intermitencia del suministro eléctrico y la falta de acceso a gas natural dificultan la implementación de algunas soluciones. La energía solar ha sido ampliamente utilizada, pero su limitación de disponibilidad horaria requiere un sistema de almacenamiento eficiente. El biogás, aunque viable, depende del volumen de residuos orgánicos generados, lo que podría ser un desafío en granjas de menor tamaño.

En este contexto, la combinación de energía solar con almacenamiento en forma de hidrógeno verde surge como una alternativa innovadora, alineada con las tendencias de descarbonización y transición energética. Este proyecto busca evaluar la viabilidad de esta solución en un entorno avícola, complementando las investigaciones previas y ofreciendo un enfoque que garantice autosuficiencia energética y sostenibilidad operativa.

#### **4.10 Perspectiva mundial**

La prioridad global en la lucha contra el cambio climático, impulsada por el aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), ha llevado a un enfoque internacional para mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C, con un objetivo más ambicioso de limitarlo a 1,5°C, según lo establecido en el Acuerdo de París de 2015. Colombia (IRENA, 2020), en línea con estos compromisos, ha presentado su Contribución Determinada a Nivel Nacional, que busca reducir las emisiones en un 51% para 2030, encaminándose hacia la neutralidad de carbono para mediados de siglo.

El hidrógeno emerge como una herramienta crucial en este escenario, especialmente para sectores que son difíciles de electrificar y que requieren descarbonización a largo plazo. Esta tendencia se observa no solo en Colombia, sino en otras economías a nivel mundial, donde se

espera que el hidrógeno de bajas emisiones tenga un impacto significativo. La popularidad creciente del hidrógeno a nivel mundial se debe a su versatilidad única. Siendo el elemento más simple en la tabla periódica y altamente reactivo, almacenable y transportable, por lo cual desempeña un papel crucial en el reemplazo de los recursos fósiles.

El interés mundial en el papel del hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados en la descarbonización de diversos sectores ha generado un impulso significativo en el desarrollo de proyectos. Actualmente, alrededor de 30 países han elaborado sus propias hojas de ruta del hidrógeno o planes energéticos, donde este elemento desempeña un papel clave en sus estrategias de reducción de emisiones. Entre estas iniciativas, destaca la estrategia de la Comisión Europea, que prevé movilizar una significativa financiación público-privada, abarcando desde investigación y desarrollo hasta incentivos para la generación de hidrógeno verde.

Por otro lado, se observa un creciente interés en el ámbito privado en el desarrollo de proyectos de hidrógeno renovable. Hasta febrero de 2021, se habían anunciado internacionalmente 228 proyectos relacionados con el hidrógeno en toda su cadena de valor, destacando aquellos de producción a gran escala. Este renovado interés se atribuye a la urgencia de acelerar la descarbonización global, la reducción de costos en energías renovables y el apoyo gubernamental a la transición energética, especialmente como parte de la recuperación económica post-COVID-19.

En consecuencia, se proyecta un rápido crecimiento en la demanda de hidrógeno puro a nivel global, pasando de 75 millones de toneladas en 2019, principalmente de hidrógeno gris, a más de 800 millones de toneladas en 2050 (MinisterioEnergía, 2021).

#### **4.11 Perspectiva en Colombia.**

El país presenta diversas fortalezas en el ámbito del hidrógeno que permiten su desarrollo, e implementación en condiciones favorables, tales como:

Abundancia de recursos naturales para la producción de hidrógeno de bajas emisiones: El país cuenta con significativas reservas de petróleo, gas natural y carbón, que podrían utilizarse para la producción de hidrógeno azul. Además, dispone de recursos renovables, como hidroeléctrica, eólica y solar, que permiten un rápido despliegue de fuentes no convencionales de energía renovable, favoreciendo la producción de hidrógeno verde.

Posicionamiento geográfico estratégico e infraestructura: Colombia se encuentra ubicada como punto de unión entre América Central y América del Sur, con una red de transporte, distribución y comercio desarrollada. Además, cuenta con una red eléctrica interconectada con países vecinos y una extensa red de gaseoductos que podrían adaptarse para el transporte de hidrógeno. Su ubicación entre dos océanos también la posiciona como nodo de comercio marítimo y exportación, con puertos estratégicos como Cartagena y Buenaventura.

Ecosistema empresarial sólido e innovador: Colombia cuenta con un tejido empresarial dinámico y emprendedor, con experiencia en diversas industrias relacionadas con el hidrógeno. La Asociación Colombiana del Hidrógeno reúne a socios del ámbito empresarial interesados en promover el desarrollo de la industria del hidrógeno. Además, el país cuenta con una academia y universidades que respaldan la investigación en nuevas tecnologías y la formación de profesionales en este campo. (MinisterioEnergía, 2021).

Además de contar actualmente con marcos normativos que promueven el desarrollo de esta tecnología, tal como La Ley 2099 de 202, que tiene como objetivo modernizar la legislación

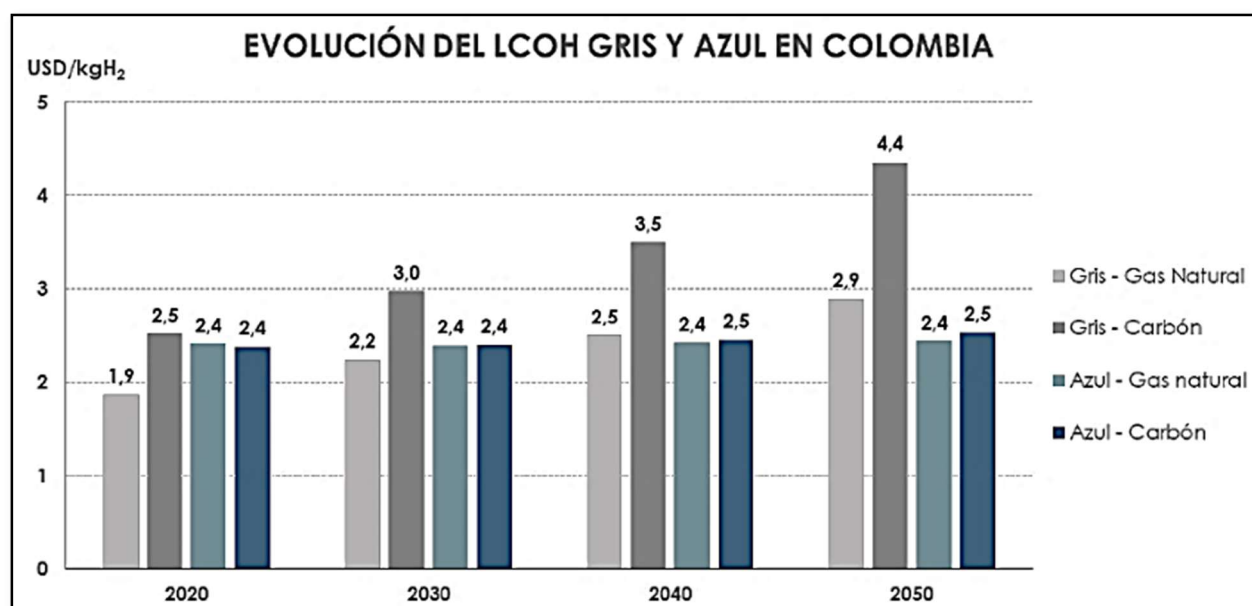
vigente y promover el uso de fuentes no convencionales de energía para dinamizar el mercado energético y reactivar la economía del país. En este sentido, la ley establece medidas para fomentar la producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno como una alternativa energética sostenible y no contaminante. La ley define el hidrógeno verde y azul, y establece beneficios fiscales y arancelarios para las inversiones en tecnologías relacionadas con el hidrógeno. Además, se establecen metas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y se promueve la investigación y desarrollo de tecnologías para la producción y uso del hidrógeno (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2015).

La Ley 2099 de 2021 establece varias metas relacionadas con la promoción del uso del hidrógeno y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia. Algunas de estas metas son: 1. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero:

- La ley establece una meta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 51% para el año 2030, en comparación con los niveles de emisiones del año 2010.
- Producción de hidrógeno: La ley establece una meta de producción de hidrógeno de al menos 3.5 millones de toneladas para el año 2030.
- Uso de hidrógeno en el transporte: La ley establece una meta de uso de hidrógeno en el transporte de al menos el 10% del total de la energía consumida en el sector para el año 2030.
- Investigación y desarrollo: La ley establece una meta de promover la investigación y desarrollo de tecnologías para la producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno en Colombia.

Estas metas son importantes para impulsar el desarrollo del sector energético en Colombia y contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que a su vez puede tener un impacto positivo en la lucha contra el cambio climático (Ley 2099, 2021).

En el contexto de la producción de hidrógeno, Colombia se centra tanto en el hidrógeno azul como en el verde. El hidrógeno azul, obtenido a partir de hidrocarburos con captura de CO<sub>2</sub>, aprovecha las abundantes reservas de recursos fósiles del país. La evolución esperada de los costos muestra que, aunque el hidrógeno azul mantiene costos constantes debido a la reducción de costos en tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>, su competitividad depende de los precios del CO<sub>2</sub>, lo que requiere mecanismos de mercado adecuados. (MinisterioEnergía, 2021). En la Ilustración 6 se puede evidenciar las proyecciones del coste nivelado del hidrógeno gris y azul dadas por la ruta de hidrógeno planteadas por el gobierno nacional de Colombia.



*Ilustración 6. Evolución esperada de hidrógeno azul y gris en Colombia para el periodo 2020-2050 (MinisterioEnergía, 2021)*

Por otro lado, el hidrógeno verde, producido a partir de energías renovables, se posiciona como una opción clave para reducir emisiones. Colombia, con su potencial en fuentes no convencionales de energía renovable, como la solar y eólica, busca impulsar la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis. La evaluación de costos muestra que hacia 2030, algunas regiones podrán producir hidrógeno verde a costos comparables al hidrógeno azul, lo que permite una variedad de producción competitiva y fiable. (MinisterioEnergía, 2021). Tal como se puede ver en la Ilustración 7.

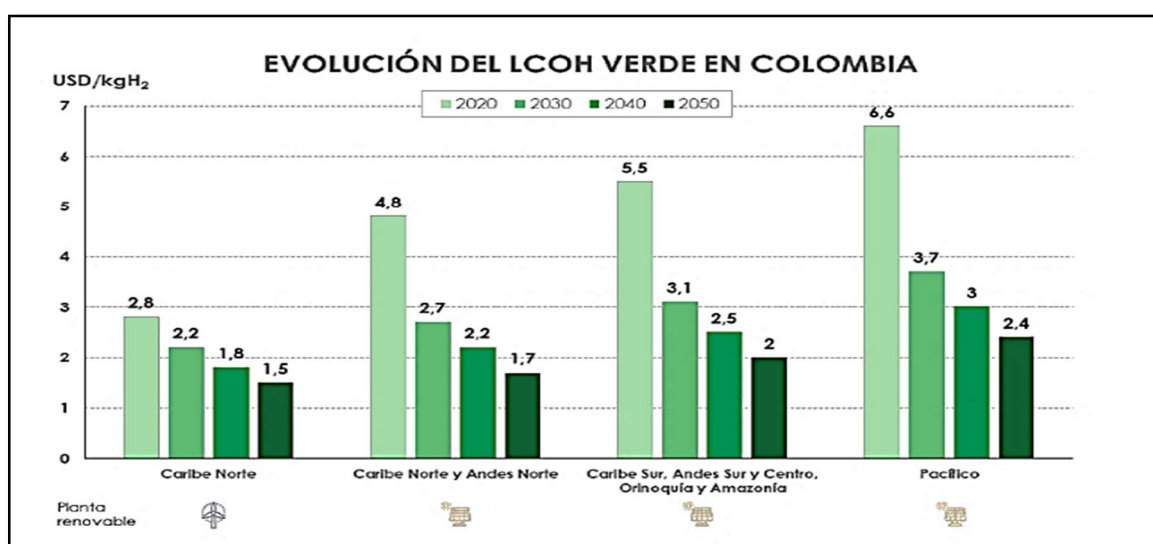


Ilustración 7. Evolución esperada de hidrógeno verde en Colombia para el periodo 2020-2050 (MinisterioEnergía, 2021).

La nueva industria del hidrógeno precisa del desarrollo de tecnología a lo largo de toda la cadena de valor. Además, se precisa de múltiples empresas tales como fabricantes, ensambladores, ingenierías, reciclaje de componentes y equipos.

El desarrollo del hidrógeno todavía precisa un gran avance tecnológico y, por ello, se considera que más allá del apoyo al despliegue de la producción y de la demanda, Colombia podría incentivar también la innovación tecnológica, sobre todo cuando esto permita la creación y el fortalecimiento de empresas e iniciativas locales. Por este motivo, se impulsarán programas de

investigación e innovación orientados a la mejora de las capacidades tecnológicas e industriales del país.

Por otro lado, se fomentarán aquellos grupos de trabajo existentes en Colombia entorno al hidrógeno en las distintas universidades del país y a las asociaciones empresariales, encargados en su conjunto de facilitar la transferencia tecnológica desde la investigación al mercado nacional e internacional. Posteriormente, una vez que ya se han potenciado las iniciativas desarrolladas hasta la fecha, se analizará la idoneidad de crear un Centro Nacional de Hidrógeno que sirva como área de demostración de proyectos piloto y desarrollo de aplicaciones futuras, permitiendo a Colombia no solo posicionarse en la producción de este nuevo vector energético, sino también contribuir a la mejora de su tecnología, con el objetivo de cumplir las metas que se ha propuesto Colombia frente al desarrollo del hidrógeno.

El hidrógeno verde, pese a que aún es una tecnología que no se encuentre penetrada completamente en los mercados energéticos globales, ya cuenta con instalaciones experimentales alrededor del mundo a partir de energía fotovoltaica, como las siguientes:

- Solar W. Bayern Hydrogen Project at Neunburg vorm Wald

Esta instalación tiene nueve campos fotovoltaicos con una potencia total de 370 kWp y eficiencias en un rango de 9 y 13% para los campos mono y policristalinos, y 5% para los amorfos. Se utilizan dos electrolizadores de baja presión con una potencia nominal de 111 y 100 kWel y un electrolizador alcalino de 100 kWel a 32 bar de presión.

Además, el sistema se vio complementado por dos pilas de combustibles estacionarias de distinta tecnología: una alcalina de 6.5 kWel y otra de ácido fosfórico de 79 kWel y 42 kW térmico. Se ensayó una pila de combustible del tipo PEMFC de 10 kWel para su uso en aplicaciones

móviles. La evaluación del sistema reveló el comportamiento inadecuado de los convertidores DC/DC y DC/AC presentes en los sistemas. Éstos fueron uno de los causantes del rendimiento global del sistema poco satisfactorio. Los dos electrolizadores ensayados mostraron una disminución notable del consumo de energía específica respecto a los electrolizadores convencionales. El electrolizador alcalino que operó a alta presión mostró un comportamiento adecuado acoplado a una fuente de energía intermitente y respondió rápidamente a los cambios de carga. El hidrógeno y el oxígeno producidos por los electrolizadores requirieron una etapa de compresión para su almacenamiento a presión. Antes de almacenarlos, se purificaron por combustión catalítica (Fukui, 2018).

- Sistema domestico solar-Hidrógeno (*PV/H<sub>2</sub>*) en Brunate, Italia

El sistema de generación de Brunate posee variados componentes que permiten la generación y almacenamiento de hidrógeno de forma renovable, con posterior regeneración de electricidad mediante una celda de combustible, todo controlado para generar con el exceso de energía proveniente de la planta fotovoltaica, los componentes del sistema se describen a continuación:

- Planta fotovoltaica: 11 *kWp*.
- Electrolizador alcalino: 1 *Nm<sup>3</sup>/h*.
- Compresión: compresión de hidrógeno 200 *bar*.
- Almacenamiento: 30 *Nm<sup>3</sup>* en hidruro metálico + 90 *Nm<sup>3</sup>* en cilindros de gas.
- Celda de combustible PEM: 5 *kW*.
- Batería: 48 *V*, 3000 *Ah*.

El sistema fotovoltaico está conectado al electrolizador a través de un convertidor DC/DC y al sistema eléctrico por otro convertidor DC/DC, la celda de combustible y la batería están conectadas, además, al sistema eléctrico de forma continua (Bharathiraja, Sudharsanaa, & Bharghavi, 2016).

- Del carbón de La Robla al hidrógeno solar.

Las dos gasísticas proyectan una fábrica de hidrógeno limpio en La Robla (León), que producirá aproximadamente 9.000 toneladas de hidrógeno verde al año mediante un electrolizador de hasta 60 MW y un parque solar fotovoltaico de cuatrocientos megas (400 MW). El proyecto, que se enmarca en la iniciativa Green Crane (promovido por 71 Enagás y al que se ha sumado Naturgy), ya ha sido presentado previamente como candidato a proyecto de interés común europeo y proyecto para la Transición Justa en Castilla y León. Las compañías van a desarrollar esta instalación en La Robla, en el entorno de la central térmica (carbonera) que Naturgy clausuró el pasado verano. La producción de la fábrica de hidrógeno verde tendrá varios destinos, según sus impulsores: el consumo local, la inyección a la red gasista "y posibilitar una futura exportación hacia el noroeste de Europa" (Bharathiraja, Sudharsanaa, & Bharghavi, 2016).

Como conclusión, el mundo va a necesitar una variedad de fuentes diferentes de generación de energía limpia para descarbonizar nuestro planeta. Necesitamos tanto fuentes renovables como otras fuentes de energía probadas, confiables y eficientes, para manejar no solo la carga actual de la red eléctrica, sino también las nuevas cargas que se agregarán en las próximas décadas. Debido a la naturaleza intermitente de las fuentes de energía renovable principales como el viento, la hidroeléctrica y el solar, los clientes están mirando con razón a otras tecnologías como las turbinas de gas de ciclo combinado y productos de celdas de combustible. Las turbinas de gas que funcionan con un 100% de hidrógeno son un nuevo concepto que no se ha desplegado ampliamente y se espera que todavía contribuyan a las emisiones de NOX. Sin embargo, las celdas de combustible son una gran adición al viaje de descarbonización porque son una tecnología probada con beneficios demostrados de sostenibilidad y confiabilidad. De las tecnologías de celdas de combustible en el mercado, las celdas de combustible de óxido sólido (SOFC) son las claras ganadoras en cuanto a eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad en la generación de energía estacionaria debido a sus altas temperaturas de funcionamiento (Bloom Energy, 2023).

## Capítulo 5

### METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este proyecto, se estableció una metodología compuesta por nueve ítems clave, cada uno alineado con los objetivos de la tesis. Estas actividades cubren desde la obtención de datos en campo hasta la validación de información con herramientas digitales y el análisis de viabilidad técnica y financiera. A continuación, se describen los principales pasos seguidos en el desarrollo del proyecto:

ITEM	OBJETIVO POR CUMPLIR
1. Visita técnica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtener la ubicación georreferenciada por medio de localizadores GPS para ser validados por la herramienta Google Earth.</li> <li>• Realización de un formato de archivo utilizado por Google Earth y otras herramientas de georreferenciación, que permite almacenar datos de ubicación, imágenes y modelos en 3D, facilitando la visualización y análisis espacial del área de estudio (KMZ Keyhole Markup Language Zipped) que se presentara como el Anexo 9 de este proyecto de investigación, para identificación completa del sitio de la granja y sus límites.</li> <li>• Análisis de las instalaciones para identificar las edificaciones existentes y las sombras que generan en el terreno.</li> <li>• Estado de las instalaciones en general con la determinación de las zonas adecuadas para la instalación y conexión de los equipos requeridos.</li> <li>• Registro fotográfico y de video de las instalaciones.</li> </ul>

ITEM	OBJETIVO POR CUMPLIR
<b>2. Estimación del recurso solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrar la estimación de radiación y las condiciones climatológicas de la zona para determinar la factibilidad del desarrollo del proyecto en esa zona. Para esta estimación se utilizarán los datos suministrados por la base de datos de Solargis Prospect, el cual genera una evaluación preliminar de la irradiancia solar del sitio. Esta evaluación será el Anexo 10.</li> </ul>
<b>3. Toma de datos de consumo de la granja avícola</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar los equipos presentes en la granja avícola con sus fichas técnicas para determinar el consumo de la granja.</li> <li>• Analizar los patrones de consumo de la producción de la granja</li> <li>• Realizar un cuadro y curva de carga para determinar el consumo objetivo que debe suplir el proyecto de generación. Este cuadro de carga se adjuntará como Anexo 1 del proyecto de investigación.</li> </ul>
<b>4. Dimensionamiento de la planta de hidrógeno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar de cálculos requeridos para obtener por medio de la electrólisis, la cantidad de hidrógeno verde que se requiere para cubrir los requerimientos eléctricos para la granja avícola que garanticen un suministro permanente de energía eléctrica a partir de hidrógeno verde las 24 horas del día. Con base en la cantidad de electricidad consumida en la granja avícola la cual se puede evidenciar en el anexo 1, más su proyección de expansión se deberá calcular el tamaño del sistema fotovoltaico necesario para cubrir el proceso de electrólisis que entregará el hidrógeno requerido para cubrir la demanda energética.</li> </ul>

ITEM	OBJETIVO POR CUMPLIR
<b>5. Dimensionamiento del sistema solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar los cálculos requeridos para el dimensionamiento del parque solar, con la capacidad y equipos necesarios para poder cumplir con el requerimiento de la producción de hidrógeno estimada en el ítem 4, la cual ya considera la carga que debe suplir el sistema descrita en el Anexo 1.</li> </ul>
<b>6. Simulación de generación eléctrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simular por medio de PVSYST con base en los datos meteorológicos de Solargis Prospect y el dimensionamiento anteriormente realizado.</li> </ul>
<b>7. Análisis de viabilidad financiera del proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cotización de los elementos requeridos para la instalación del sistema solar y del sistema de electrólisis para la obtención del hidrógeno.</li> <li>Modelamiento matemáticos financieros para determinar la viabilidad del proyecto.</li> </ul>
<b>8. Análisis de viabilidad ambiental del proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valoración del impacto ambiental en la implementación del proyecto, ventajas, desventajas ambientales y normatividad Colombi</li> </ul>

## Capítulo 6

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con las actividades que se presentan a continuación se muestra el proceso de obtención de los datos de consumo de cada uno de los equipos presentes en la granja avícola, así como los cálculos técnicos requeridos para el desarrollo de este proyecto, en la Ilustración 8, se muestra el paso a paso de las etapas para la obtención de la energía necesaria en la granja avícola, el desarrollo de cada uno de los pasos se muestra en este capítulo 6.

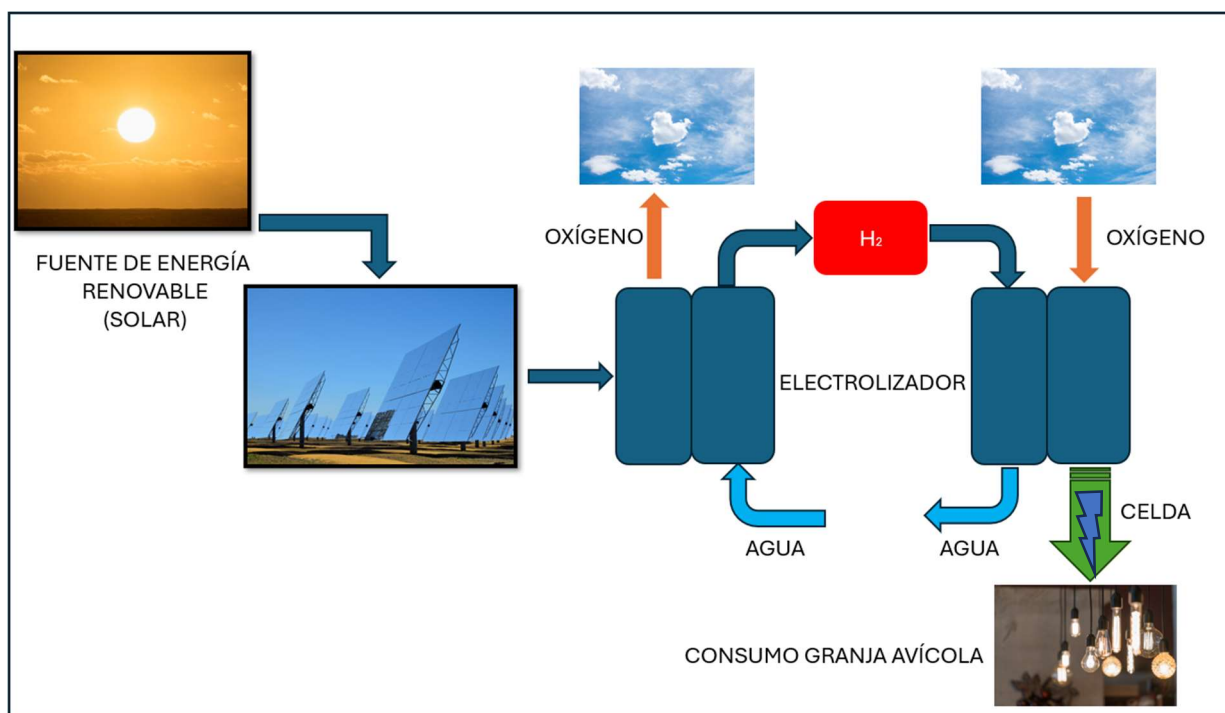
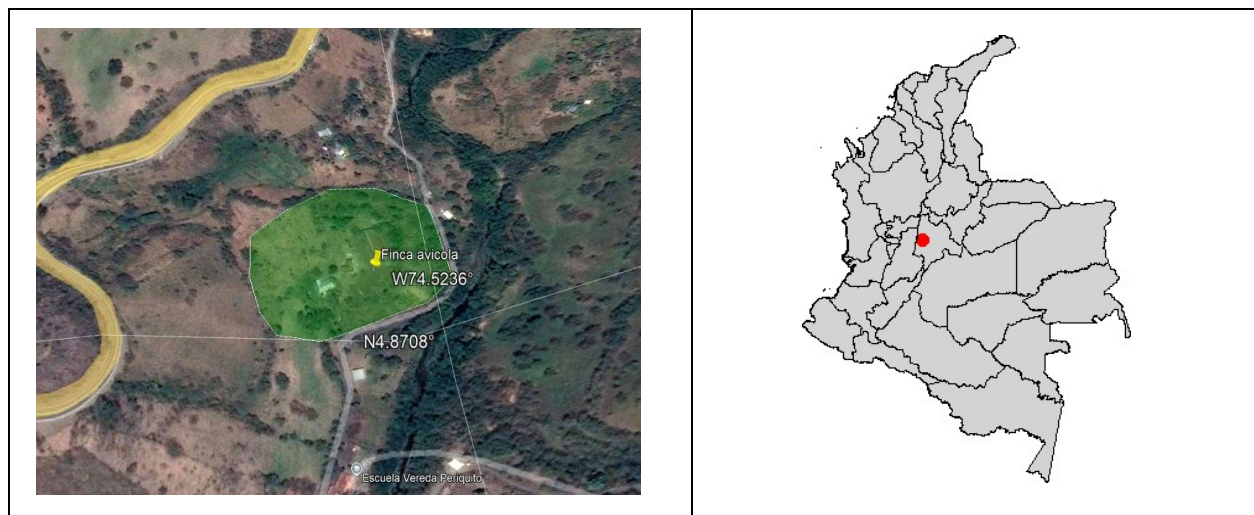


Ilustración 8. Sistema de obtención de energía con producción de hidrógeno. (BlogMech, 2024)

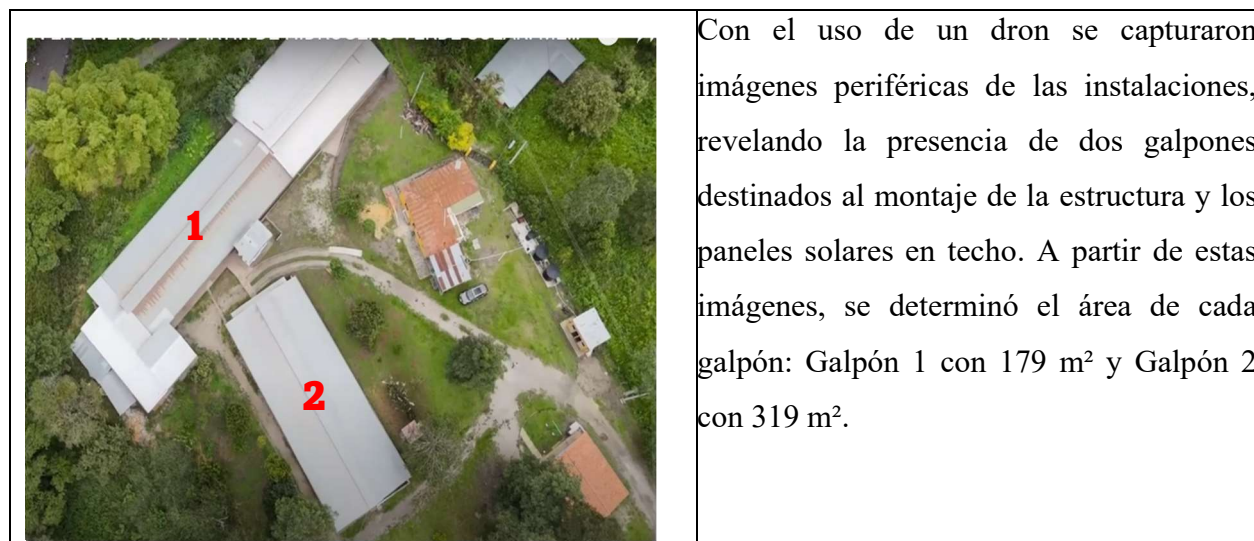
#### 6.1 Visita técnica.

La granja avícola se encuentra ubicada en el municipio de Bituima, el cual, geográficamente se encuentra ubicado sobre la ladera Occidental de la Cordillera Oriental de

Colombia Ilustración 9, al noroccidente de la capital del país, Bogotá, de la que dista una distancia aproximada de 62 km, forma parte de departamento de Cundinamarca.



*Ilustración 9. Ubicación geográfica del proyecto (Bituima, 2024)*



Con el uso de un dron se capturaron imágenes periféricas de las instalaciones, revelando la presencia de dos galpones destinados al montaje de la estructura y los paneles solares en techo. A partir de estas imágenes, se determinó el área de cada galpón: Galpón 1 con 179 m<sup>2</sup> y Galpón 2 con 319 m<sup>2</sup>.

*Ilustración 10. Identificación de los galpones avícolas.*



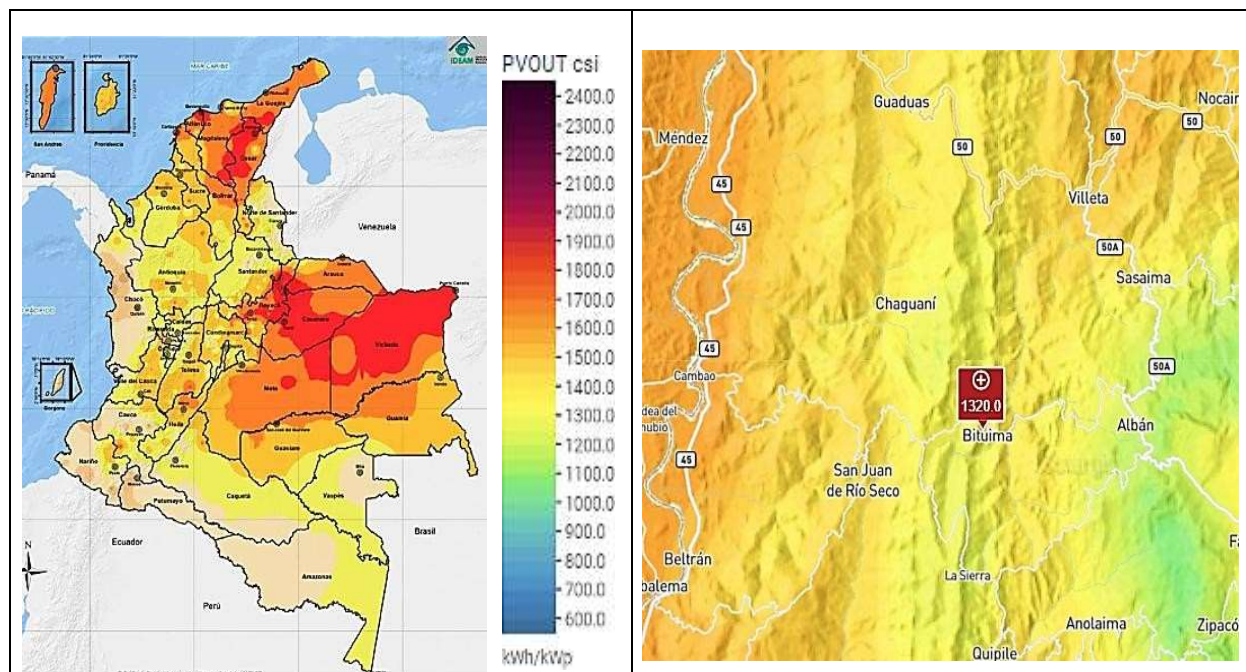
*Ilustración 11. Registro fotográfico e identificación conexión eléctrica.*

El sitio cuenta con vías de acceso adecuadas para el tránsito de vehículos de carga pesada, lo que facilita el transporte de la infraestructura requerida hacia la granja. A solo 197 metros de distancia se encuentra la vía Guayabal de Síquima – Bituima, que está en excelentes condiciones, además de una vía arterial pavimentada que conecta directamente con la granja, asegurando una logística eficiente para el traslado y montaje de los equipos necesarios.

Además de la infraestructura eléctrica existente Ilustración 11, el lote del propietario abarca una superficie aproximada de 3 hectáreas dividida en áreas construidas de aproximadamente 1 hectárea y las otras 2 hectáreas son de tipo arbóreas o zona vegetal, lo que ofrece un espacio adecuado para la instalación de un sistema fotovoltaico de mediana escala con estructuras fijas a los techos de los galpones avícolas Ilustración 10, de llegar a ser necesario también se cuenta con espacio a nivel de terreno, ya que no se presentan animales semovientes en la granja avícola que generen daños en las instalaciones fotovoltaicas. Adicionalmente, dentro de las 2 hectáreas de zona vegetal se podría implementar la infraestructura complementaria para la instalación del sistema de generación de electricidad por medio de electrólisis e hidrógeno, el cual convertiría la energía solar en hidrógeno verde.

## 6.2 Estimación del recurso solar.

El análisis del recurso solar para la ubicación de la granja avícola se ha llevado a cabo utilizando los datos proporcionados por Solargis Prospect.



*Ilustración 12. Estimación de recurso solar. (IDEAM, 2021)*

El análisis de la zona de estudio indica que el proyecto se encuentra en una región con irradiación solar media, según el mapa de radiación presentado en la Ilustración 12. La franja amarilla, que corresponde a valores de irradiación global horizontal (GHI) entre 1600 y 1200 kWh/m<sup>2</sup> anuales, sugiriendo un potencial de energía solar moderado - alto. Este tipo de radiación es adecuada para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos de pequeña y mediana escala, como es el caso de la instalación propuesta.

Datos de radiación	Valor
Radicación global horizontal (kWh/m <sup>2</sup> )	1696
Radicación difusa promedio anual (kWh/m <sup>2</sup> )	923,6
Temperatura promedio anual (°C)	21.2
Velocidad del viento (m/s)	1,3

*Tabla 3. Resumen datos Solargis Prospect*

Los valores que muestra la Tabla 3, confirman que la ubicación del proyecto cuenta con condiciones adecuadas de irradiación y temperatura para la instalación de un sistema solar fotovoltaico. La radiación global horizontal es un indicador clave del potencial energético, ya que determina la cantidad de radiación solar que incide sobre la superficie, mientras que, la radiación difusa aporta información relevante para tecnologías específicas, como módulos bifaciales o sistemas que operan en condiciones de cielos nublados.

Adicionalmente, la temperatura promedio anual es de 20,6 ° C óptima para el funcionamiento eficiente de los módulos fotovoltaicos e inversores, ya que se encuentra dentro del rango recomendado por la mayoría de los fabricantes. Las temperaturas elevadas pueden reducir la eficiencia de los equipos, por lo que es crucial que las condiciones térmicas se mantengan dentro de límites aceptables por los fabricantes para maximizar la producción de energía.

Concluyendo que, las condiciones de radiación y temperatura en la zona de estudio son propicias para garantizar el desempeño adecuado y eficiente de un sistema fotovoltaico, lo que respalda la viabilidad técnica del proyecto.

### 6.3 Toma de datos de la granja avícola

Para la elaboración del cuadro de cargas de la planta avícola, se realizaron mediciones detalladas y promedios de los consumos energéticos de cada uno de los elementos que requieren energía eléctrica. Dichas mediciones abarcaron tanto el análisis de los consumos diurnos y nocturnos, con el fin de garantizar un abastecimiento energético integral que cubra todas las necesidades operativas de la granja durante las 24 horas, analizando los componentes que tienen un consumo continuo de energía y cuáles poseen un consumo puntual que no presenta afectación para el crecimiento de las aves en la granja avícola. El detalle de estos consumos se puede ver en el Anexo 1, con la curva de consumo promedio en un día que se muestra en el Anexo 2.

Sumando los consumos diurnos y nocturnos, se determina un consumo energético total de la granja de 3397 kWh al mes. Este valor corresponde a un consumo diario promedio de 139 kWh, considerando un mes de 30 días, estableciendo así la demanda energética típica de la planta avícola. De este total, aproximadamente el 55,1% proviene del consumo diurno, mientras que el 44,9% corresponde al consumo nocturno.

Para anticipar posibles expansiones futuras de la granja, se ha considerado un margen de crecimiento del 20%, lo que eleva el consumo estimado diario a 167 kWh. Esto da como resultado un consumo mensual corregido de aproximadamente 4080 kWh al mes. Este valor corregido con el consumo adicional será utilizado para dimensionar el sistema de generación energética, asegurando que cubra tanto las necesidades actuales como las futuras, con el objetivo de mantener un suministro energético confiable y eficiente para la operación y posibles expansiones de la granja.

## 6.4 Dimensionamiento de producción de hidrógeno

Para satisfacer la demanda energética diaria de la granja avícola con hidrógeno, se determina cuántos kilogramos de hidrógeno deben ser generados por el electrolizador. Esta cantidad se calcula utilizando la Ecuación 1, donde el valor de la energía específica del hidrógeno, conocido como Lower Heating Value (LHV), es aproximadamente 33,33 kWh/kg. (Enapter, 2024).

$$\text{Cantidad de hidrógeno (kg)} = \frac{\text{Energía requerida (kWh)}}{\text{Energía específica del hidrógeno} * \text{eficiencia electrolizador} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right)} \quad (1)$$

$$\text{Cantidad de hidrógeno (kg)} = \frac{167 \text{ (kWh)}}{33,33 * 0,41 \left( \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right)} = 12,22 \text{ kg de H}_2$$

Por lo tanto, para cubrir la demanda energética diaria de 167 kWh, se requieren aproximadamente 12,22 kg de hidrógeno (H<sub>2</sub>). Esto implica un consumo mensual aproximado de 367 kg de H<sub>2</sub> en un ciclo de 30 días. Este dato es fundamental para la selección adecuada del equipo compacto que realiza la producción de hidrógeno del proyecto, asegurando que la energía necesaria para las operaciones diarias de la granja se pueda generar de manera eficiente y sostenible.

### 6.4.1 Selección de electrolizador

Con base en lo descrito en el numeral 6.4 de este documento, se ha determinado que la mejor opción de electrolizador para la granja avícola es un electrolizador tipo PEM. Tras realizar una búsqueda entre proveedores a nivel mundial y considerando el requerimiento diario de hidrógeno (12 kg de H<sub>2</sub>) se identificó un equipo que constituye un sistema todo en uno. Este

sistema incluye el sistema de electrólisis, compresión para almacenamiento de H<sub>2</sub>, la pila de combustible requerida para generar la electricidad y una salida en corriente alterna (AC), como se muestra en la Ilustración 13. Características equipo seleccionado. H2Vector..

## SERIE VECTOR

Los equipos de la Serie VECTOR permiten conseguir un máximo aprovechamiento de las fuentes de energía renovable, utilizando el hidrógeno como medio para almacenar sus excedentes.



Ilustración 13. Características equipo seleccionado. H2Vector.

De acuerdo con el catálogo de equipos del fabricante H2Vector Anexo 3, el modelo seleccionado presenta las siguientes características con los requerimientos internacionales expuestos en NREL en la Tabla 4.

<b>Electrolizador Seleccionado</b>	
Marca	H2 Vector Energy Technologies S.L.
<b>Características</b>	
Tecnología	Electrólisis de agua - PEM
Producción de hidrogeno máxima	17,256 kg/h H <sub>2</sub> (8 Nm <sup>3</sup> /h)
Presión de salida de hidrogeno	Hasta 410 barg
Calidad del hidrogeno producido	99,999 %
Rango de operación	50 – 100 %
Tipo de celda de combustible	PET-13B
Potencia bruta celda de combustible	Hasta 27,2 kW
Eficiencia eléctrica de la celda de combustible	41 %
Consumo específico del sistema	53,33 kWh/kg (60%)
Servicios requeridos para operación del equipo	Energía eléctrica, agua potable.
Consumo máximo de hidrogeno	1,661 kg/h (308 NI/min)
Sistema de almacenamiento	Botellas tipo III, 6 unidades de capacidad de 50 litros. @300 barg y 25 °C.
Consumo de agua	1 litro / 0,09 kg de H <sub>2</sub> . Conductividad de < 5 microS/cm.

*Tabla 4. Características principales equipo seleccionado. (NREL, 2023).*

## **6.5 Dimensionamiento del parque solar.**

Dado que el electrolizador elegido, requiere 53,33 kWh para generar 1 kg de H<sub>2</sub>, es necesario calcular cuanta energía se debe generar en el sistema fotovoltaico para generar los 12 kilogramos de hidrógeno necesarios para suplir el consumo energético de la granja avícola. Ecuación 2.

$$\text{Cantidad de hidrógeno (kg)} = 12 \text{ kg} * 53,33 \text{ kWh/kg} \approx 640 \text{ kg de kWh/día (2)}$$

### **6.5.1. Radiación solar promedio.**

Con base en la información presente en el mapa de radiación de Colombia, Anexo 5, obtenemos que el valor de la radiación solar promedio en Cundinamarca es  $\approx 4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , este valor es indispensable para obtener la capacidad necesaria del sistema fotovoltaico.

### **6.5.2. Determinación de la capacidad del sistema fotovoltaico.**

#### **6.5.2.1 Eficiencia del sistema.**

Se consideran las pérdidas del sistema (inversores, cables, radiación térmica, etc.), se determina un valor promedio en el 80% (0,8).

#### **6.5.2.2 Energía requerida del sistema fotovoltaico.**

El primer paso para el dimensionamiento correcto del dimensionamiento del parque solar,

realizamos el cálculo requerido para determinar la energía diaria necesaria. Ecuación 3.

$$\text{Energía diaria necesaria} = \frac{640 \text{ kWh/día}}{0,8} \approx 800 \text{ kg de kWh/día (3)}$$

### 6.5.2.3 Capacidad del sistema fotovoltaico.

Con el dato obtenido en el numeral 6.5.2.3, se realiza el cálculo de la capacidad necesaria que debe tener el sistema fotovoltaico. Ecuación 4.

$$\text{Capacidad necesaria} = \frac{800 \text{ kWh/día}}{4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}} \approx 180 \text{ kW (4)}$$

La realización de estos cálculos determina que el sistema fotovoltaico debe tener una capacidad de 180 kW para suplir la energía que requiere el electrolizador con una eficiencia de este sistema fotovoltaico del 80%.

### 6.5.3 Selección y cantidad de paneles solares.

Bajo la premisa que en el departamento de Cundinamarca el valor de los días al mes sin brillo solar es de menos de 5 días al mes (UPME, 2024). En la búsqueda nacional sobre los paneles más comerciales y con las mejores características de precio, funcionamiento, cumplimiento con normas internacionales de calidad TIER1, se seleccionan los paneles de 500 W, de la empresa Canadian Solar. Esta tipo de paneles de 500 W se encuentran en múltiples marcas a nivel nacional en el caso que se requiera un reemplazo rápido por ruptura durante el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

Realizando los cálculos para determinar la cantidad de paneles solares que se requieren en el proyecto. Ecuación 5.

$$\text{Número de paneles necesarios} = \frac{180 \text{ kW}}{0,5 \text{ kW/panel}} \approx 360 \text{ paneles (5)}$$

Ese valor se utiliza para el inicio de la modelación realizada en PVSyst, la cual se puede ver en el Anexo 7 del presente documento, en donde se realiza una simulación de la ubicación de cada panel con la inclinación adecuada para evitar los sombreados que se dan durante el recorrido del sol durante el día, además se incluye en la simulación todas las pérdidas, indisponibilidades, pérdidas por sombreado, temperatura, derrateo de los inversores en esta simulación. Se considera necesaria una cantidad de 360 paneles de 500W para la toda el sistema fotovoltaico a instalar para el proyecto.

#### **6.5.4. Determinación de inversores para el proyecto.**

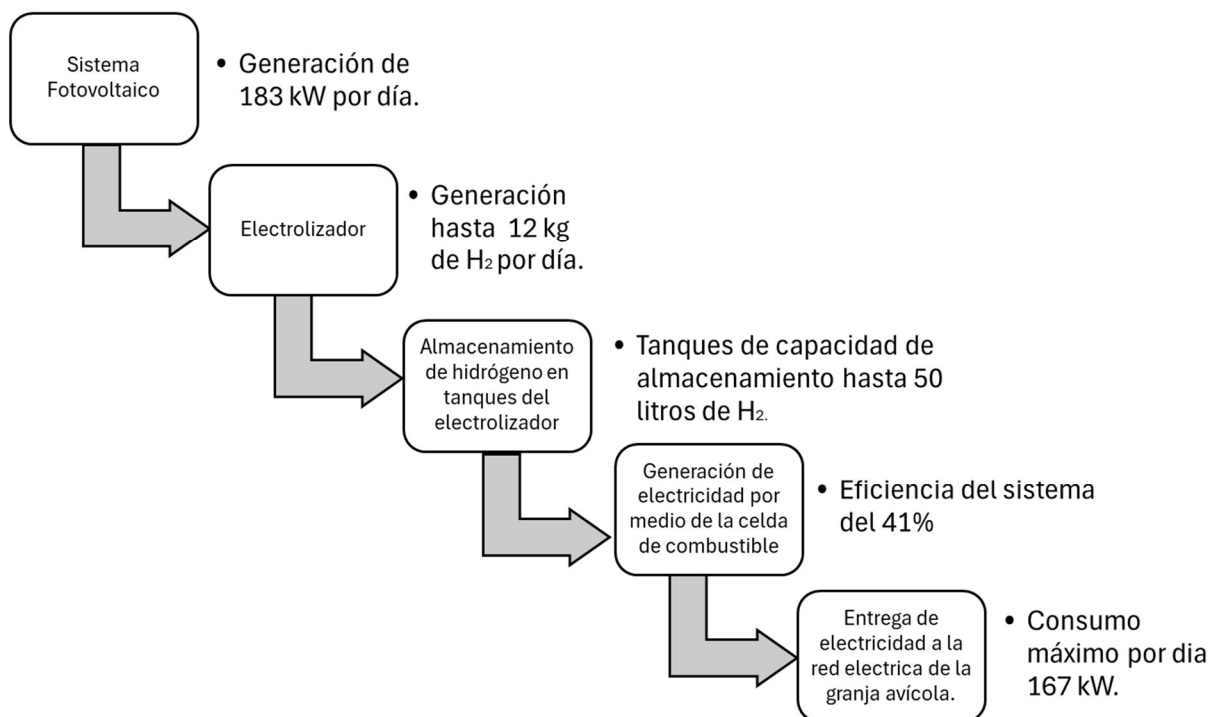
En los sistemas fotovoltaicos se deben instalar equipos que sean los encargados de convertir la corriente continua (DC) que se genera en los paneles fotovoltaicos a una corriente alterna (AC), que se requiere para el funcionamiento del electrolicador. Para determinar la cantidad de inversores que se requieren en el proyecto se realizan los cálculos mostrados en la ecuación 6.

**Premisa de diseño inversores:** Como en los paneles solares se realiza un estudio de campo para la comparación de las diferentes marcas, capacidades y números de inversores instalados en proyectos en Colombia y por último su facilidad de consecución en el mercado nacional, con todos estos aspectos analizados se seleccionan inversores de capacidad de 33 kW, de la marca Sungrow, es importante que la cantidad de inversores totales a requerir en el proyecto no sean superior a la capacidad del sistema fotovoltaico, lo cual genera un sobredimensionamiento del proyecto

elevando los costos. En el Anexo 6 se puede observar la ficha técnica de estos inversores seleccionados.

$$\text{Número de inversores necesarios} = \frac{180 \text{ kW}}{33 \text{ kW/inversor}} \approx 6 \text{ inversores (6)}$$

A continuación, se presenta un esquema del sistema energético diseñado para la granja avícola, en el que se visualiza la interacción entre la generación solar, el almacenamiento en hidrógeno y la conversión de energía mediante una celda de combustible. Este esquema permite entender el flujo energético dentro del sistema y cómo se optimiza el uso de los recursos disponibles para garantizar un suministro continuo de electricidad. Ilustración 14.



*Ilustración 14. Esquema energético propuesto para el proyecto de generación eléctrica por medio de un electrolizador tipo PEM.*

## **6.6 Simulación de generación de energía solar.**

Con los datos obtenidos en los numerales 6.5.3 y 6.5.4 con las características técnicas de cada elemento seleccionado se realizó una simulación en la herramienta especializada para la creación de proyectos fotovoltaicos que se llama PVSyst, esta es el sistema fotovoltaico que se requiere para alimentar al electrolizador de tipo PEM.

Con el consumo energético de la granja y la configuración de la planta fotovoltaica claramente definidos, se procede a realizar la simulación correspondiente utilizando el software PVSyst. Para esta simulación, se empleó información meteorológica sintética extraída de la base de datos de la NASA, la cual se basa en registros históricos de 1983 a 2005. Esta información permite proyectar de manera precisa la radiación solar estimada para la zona en estudio.

La Tabla 5 muestra los resultados de la generación estimada para el primer año de operación de la planta, además de otras variables clave como la temperatura ambiente, la radiación solar y el performance ratio (PR) esperado. La simulación completa se adjunta en el Anexo 7, de este documento para una revisión más detallada.

Mes	T Amb °C	Glob Inc (kWh/m <sup>2</sup> )	Glob Eff (kWh/m <sup>2</sup> )	E_Grid (kWh)	PR ratio
Enero	21,20	159,8	142,6	23,05	0,792
Febrero	21,50	131,8	117,6	18,85	0,786
Marzo	21,40	130,8	115,3	17,81	0,748
Abril	21,20	118,7	103,8	16,99	0,786
Mayo	21,10	112,2	96,7	15,90	0,779
Junio	21,00	103,8	88,6	14,03	0,743
Julio	21,10	113,3	97,5	15,76	0,764
Agosto	21,50	127,8	112,3	17,88	0,769
Septiembre	21,60	134,7	119,3	19,34	0,789
Octubre	21,00	144,0	128,4	20,76	0,792
Noviembre	20,70	145,4	129,0	20,98	0,793
Diciembre	20,89	155,9	137,7	22,32	0,787
<b>Total Año 1</b>	<b>21,18</b>	<b>1578,0</b>	<b>1389,0</b>	<b>223,67</b>	<b>0,779</b>

*Tabla 5. Simulación PVSyst resumen. Elaboración Propia*

## 6.6 Análisis de viabilidad financiera del proyecto.

En este apartado se presenta el análisis financiero de la alternativa de generación constante mediante hidrógeno verde. Como punto de partida, se detalla el CAPEX (gasto de capital) del proyecto, que se describe en la Tabla 6.

CAPEX	UNIDAD	PRECIO		VALOR TOTAL
		UNITARIO (COP)	CANTIDAD	(COP)
Módulo solar fotovoltaico	500 W	\$ 403.000	360	\$ 145.080.000
Inversores	33 kW	\$ 13.365.488	6	\$ 80.192.688
Electrolizadores	12 kg H <sub>2</sub> / día	\$ 513.480.000	1	\$ 450.479.264
Celda de combustible	13,6 kW	\$ 359.436.000	1	\$ 359.436.000
Ingeniería de detalle	UND	\$ 62.111.277	1	\$ 62.111.277
Construcción obras civiles	UND	\$ 103.518.795	1	\$ 103.518.795
Pruebas y puesta en marcha.	UND	\$ 20.703.759	1	\$ 20.703.759
<b>TOTAL GENERAL</b>				<b>\$ 1.221.521.783</b>

Tabla 6. CAPEX de proyecto granja avícola. Fuente: Elaboración propia.

Con una inversión inicial estimada en COP \$ 1.221.521.783, se modela el flujo financiero para determinar el Costo Nivelado de Producción de Hidrógeno (LCOH), este es el principal indicador para evaluar la competitividad de proyectos de hidrógeno. Permite comparar distintos métodos de producción, como el reformado de metano o la electrólisis, y analizar cómo factores como la ubicación y el tamaño de los equipos afectan el costo a lo largo de la vida útil del proyecto. En proyectos de electrólisis, el LCOH depende del CAPEX, el precio de la electricidad, y las horas

de operación. Un mayor tiempo de operación ayuda a amortizar la inversión, pero requiere equilibrar el costo de electricidad y evitar inversiones adicionales que puedan elevar el LCOH. (Ministerio de Energía, 2024). El desarrollo detallado de los cálculos financieros realizados en este proyecto se puede observar en el Anexo 8.

Además, considerando una inversión inicial de COP \$ 1.221.521.783, y que la granja avícola paga en promedio cerca de COP \$ 45.000.000 en sus facturas de energía eléctrica. Se procede a calcular la TIR del proyecto, la cual para este caso particular arroja un resultado de TIR= -6%. Lo que significa que el proyecto no está recuperando lo invertido de manera suficiente para cubrir el costo del capital. En otras palabras, la inversión inicial no está siendo compensada por los flujos de caja futuros.

Los resultados de calcular el LCOH se muestran en Tabla 7

<b>LCOH TOTAL (COP/Kg)</b>	\$ 114.472,27
<b>\$CAPEX (COP/kg)</b>	\$ 65.018,94
<b>O&amp;M (COP/kg)</b>	\$ 49.335,40
<b>Agua COP (COP/kg)</b>	\$ 117,93

*Tabla 7. Resumen del coste nivelado de producción de hidrógeno. Fuente: Elaboración propia.*

Así, el costo de producción del hidrógeno en este proyecto es de COP \$ 114.472 por kilogramo, lo que equivale a aproximadamente USD 25 por kg de H<sub>2</sub>. Comparado con el promedio del LCOH de 47 proyectos de referencia, cuyo rango oscila entre \$ 2,2 y \$ 4 USD/kg H<sub>2</sub> para el año 2024, se concluye que el costo nivelado de este proyecto es significativamente más alto,

superando en más de diez veces el promedio de costos actuales, que se logran identificar en el Anexo 8.

A pesar de que el costo estimado de generación de 12 kg de hidrógeno para la granja avícola es de COP \$ 1.373.664 un valor inferior a las facturas de electricidad actuales (entre COP \$ 2.700.000 y COP \$ 3.500.000), el elevado CAPEX implica que el sistema no es financieramente competitivo ni rentable, limitando su viabilidad en términos económicos para esta aplicación específica.

Adicionalmente, se encuentran con ingresos adicionales para este tipo de alternativas. Considerando la capacidad de la planta, se viabiliza la alternativa de poder vender certificados de energías renovables, los cuales se pueden tranzar a través de la plataforma ECOGOX (ECOGOX, 2024), por medio de XM S.A.S. E.S.P. Quien es el administrador del mercado eléctrico en Colombia.

Estos certificados se venden a precios que varían dependiendo de la negociación a la que se llegue con el comprador, sin embargo, para este tipo de alternativas, rondan entre los COP \$5.000 y \$7.000 COP por MWh de energía. Es decir que, teniendo en cuenta una proyección de producción de 769,25 MWh/año, Se podrían contar con ingresos de entre los rangos de COP \$3.800.000 – COP \$5.300.000.

Finalmente, aplicando los incentivos tributarios de los que trata la ley 1715 de 2014. Que son: (i) exclusión de IVA, (ii) exclusión de aranceles, (iv) deducción de hasta el 50% del valor del proyecto en la declaración de renta, y (v) depreciación acelerada. Que sumados a los ingresos adicionales por los certificados de energía renovable, la TIR del proyecto se eleva al 1%. Haciendo del mismo un proyecto viable financieramente. Sin embargo, aquí es importante considerar que en

el caso de la granja avícola, está no tiene pagos importantes a la DIAN por concepto de renta, por lo cual deberá deducir este beneficio a lo largo de un largo periodo de 10 años.

Adicionalmente, se cuantifica la cantidad en toneladas de  $CO_2$  que se evitan con la construcción del proyecto. Considerando una producción anual estimada de 769,25 MWh/año, y que de acuerdo con la resolución UPME No. 000705 de 2024 (UPME, 2024), para las plantas solares y eólicas el factor de emisión de gases de efecto invernadero es el siguiente:

$$\text{Factor} = 0,493 \text{ tonCO}_2\text{eq/MWh}$$

$$\text{Toneladas de } CO_2 = 769,25\text{MWh/año} \times 0,493\text{ton } CO_2\text{eq/MWh (7)}$$

$$\text{Toneladas de } CO_2 = 379,46\text{tonCO}_2\text{eq/año (7)}$$

## Capítulo 7

### CONCLUSIONES

- El uso de tecnologías compactas de electrólisis y celdas de combustible mantiene elevados costos en términos de CAPEX, pese a esto este tipo de tecnología facilita la implementación y operación para soluciones que se estiman ser desatendidas
- Es importante considerar la operación, mantenimientos preventivos y correctivos al proponer este tipo de soluciones a instalaciones que no cuentan con el personal capacitado.
- La eficiencia del sistema se ve afectada por pérdidas en cada etapa del proceso (fotovoltaico, electrólisis, almacenamiento y conversión en la celda de combustible). Resultando así en una eficiencia global del sistema del 20%.
- La inversión inicial (CAPEX) del proyecto es alta COP \$ 1.221.521.783, permite un retorno de inversión en el año 18 de operación del proyecto, considerando una factura de energía promedio de COP \$ 45.000.000 indexada al IPP.
- La viabilidad financiera del proyecto dependerá de la aplicación de los incentivos económicos establecidos en la Ley 2169 de 2021 y la Ley 1715 de 2014 y los certificados de energías renovables. Pasando de una TIR del 6%, a una del 1%.
- Se evidencia la necesidad de promover nuevos incentivos, para el desarrollo y adopción de este tipo de tecnologías en el país.
- La instalación permitiría reducir aproximadamente 379,46 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

## RECOMENDACIONES

Es importante estudiar diversas alternativas para la generación de energía, que pudieran ser implementadas. A continuación, se presentan dos opciones: la generación solar con almacenamiento y la generación mixta, que combina la energía solar y el uso de hidrógeno.

### 1. Generación solar con baterías

Este enfoque se basa en la instalación de paneles solares que capturan la energía solar durante el día y, mediante un sistema de almacenamiento (baterías), permiten utilizar esta energía almacenada cuando no hay irradiación solar, como en la noche o en días nublados. El dimensionamiento del sistema se hará en función del consumo energético de la granja avícola, contemplando tanto los picos de consumo como los períodos de menor demanda.

Ventajas:

- Desarrollo de la tecnología: Es una tecnología probada y ya implementada en soluciones residenciales, con mayor desarrollo, el servicio técnico de las mismas es más amplio.
- Reducción de inversión inicial: Son soluciones con precios inferiores que los de la producción de hidrógeno
- Simplicidad del sistema: Este enfoque puede ser menos complejo en términos operativos que un sistema de hidrógeno, al evitar la electrólisis y el manejo del hidrógeno, y el tratamiento de agua.

Desventajas:

- Inversión inicial: La instalación de sistemas de almacenamiento, como baterías, puede suponer un costo considerable, lo que hace que la inversión inicial sea un desafío.
- Duración de las baterías: Las baterías tienen una vida útil limitada y requieren mantenimiento o reemplazo, lo que implica costos adicionales a lo largo del tiempo
- Capacidad de almacenamiento: La energía siempre estará almacenada en las baterías, está no podrá extraerse o almacenarse en otro lado. Lo que frente a picos de radiación podría resultar en una pérdida de energía solar generada.

## **2. Generación mixta, generación solar en el día, y uso de hidrogeno en la noche.**

Este sistema complementa la energía solar generada durante el día con la producción de hidrógeno, el cual se utiliza como fuente de energía durante la noche. En este caso, el exceso de energía solar producido durante el día se utiliza para alimentar un sistema de electrólisis que convierte el agua en hidrógeno. Este hidrógeno puede ser almacenado y posteriormente utilizado en pilas de combustible para generar energía durante la noche.

Ventajas:

- **Optimización de recursos:** Permite maximizar el uso de la energía solar generada durante el día, almacenando el exceso en forma de hidrógeno que se puede utilizar durante periodos de mayor demanda.
- **Flexibilidad:** La producción de hidrógeno proporciona flexibilidad en la gestión energética, ya que se puede adaptar a las necesidades de la granja en diferentes momentos del día.
- **Reducción de CAPEX:** Se dimensionará un electrolizador de menor escala, puesto que la producción de hidrogeno necesaria, disminuirá.
- **Mejora en eficiencias:** Las pérdidas en el proceso de electrólisis son mayores que durante la generación de energía solar fotovoltaica. Lo que podrá optimizar la producción de energía.

Desventajas:

- **Complejidad del sistema:** La integración del sistema de electrólisis y almacenamiento de hidrógeno añade complejidad técnica al diseño e implementación del sistema energético.
- **Intermitencia del recurso:** mayor exposición a no contar con el energético de hidrogeno necesario, ante épocas de baja radiación o indisponibilidades de la planta solar.

Ambas alternativas ofrecen soluciones prometedoras para abordar las necesidades energéticas de la granja avícola, pero deben ser evaluadas a fondo en relación con su viabilidad técnica y económica, tal como se hizo con la alternativa propuesta en este trabajo de grado, para así poder determinar cuáles sería la alternativa más favorable.

## REFERENCIAS

- ACCIONA. (2021). Obtenido de [https://www.accionacom.com/es/hidrogeno-verde/?\\_adin=02021864894](https://www.accionacom.com/es/hidrogeno-verde/?_adin=02021864894)
- Arboleda G., J. A. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín, Colombia.
- Atlas, G. W. (2024). Global Wind Atlas. Obtenido de <https://globalwindatlas.info/en/>
- Bharathiraja, B., Sudharsanaa, T., & Bharghavi, A. (2016). Biohydrogen and Biogas—An overview on feedstocks and enhancement process. *Fuel*, 185, págs. 810-828.
- Bituima, A. d. (2024).
- BlogMech. (2024). <https://blogmech.com/>.
- Bloom Energy. (2023). bloomenergy. Obtenido de <https://www.bloomenergy.com/wp-content/uploads/hydrogen-power-generation-whitepaper.pdf>
- Cervera, M. d. (2021). Análisis de instalaciones de generación de hidrógeno mediante energía solar fotovoltaica. Sevilla.: Dpto. Ingeniería Energética Escuela Técnica Superior de Sevilla.
- Cervera, M. d. (2021). Análisis de instalaciones de generación de hidrógeno mediante energía solar fotovoltaica. Sevilla: Dpto. Ingeniería Energética Escuela Técnica Superior de Sevilla.
- Colombiano, S. G. (2022). Geotermia en Colombia. Obtenido de Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeridas/Documents/geotermia-en-colombia.pdf>
- Csereklyei, Z., Songze, Q., & Ancev, T. (s.f.). The effect of wind and solar power generation on wholesale electricity prices in Australia. *Energy Policy*, 131, págs. 358-369.
- ECOGO. (2024). <https://www.ecogox.com/about>.
- Enapter. (2024). [https://www.enapter.com/kb\\_post/what-is-the-energy-content-of-hydrogen/](https://www.enapter.com/kb_post/what-is-the-energy-content-of-hydrogen/).

Fedesarrollo. (2019). El Mercado de la Energía Eléctrica en Colombia: Características, Evolución e impacto sobre otros sectores.

FENAVI - Federación Nacional de Avicultores de Colombia -. (junio de 2023).

Federación Nacional de Avicultores de Colombia. Boletín 381. Obtenido de Federación Nacional de Avicultores de Colombia. Boletín 381: <https://fenavi.org/publicaciones/boletin-fenaviquin/>

Fenavi. (2024). 2024, Fenaviquín edición especial 393. Obtenido de <https://fenavi.org/boletin-fenaviquin/fenaviquin-edicion-especial-393-enero-15-de-2024/>

FENERCOM, F. d. (2007). Energía solar fotovoltaica. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

Fukui, T. (2018). Nanoparticle Technology Handbook (Third Edition).

Guerra, C. F. (2019). El hidrógeno como vector energético. Santiago de Chile: Universidad Autónoma de Chile.

Guerra, C. F. (2019). El hidrógeno como vector energético. Santiago de Chile: Universidad Autotona.

Hidrogeno, C. N. (2024). <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>.

hydrogen, N. (2024). Obtenido de <https://nelhydrogen.com/>

IBERDROLA. (2020). Energías renovables para todos (SOLAR FOTOVOLTAICA). [http://www.enginyeria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno\\_FOTOVOLTAICA.pdf](http://www.enginyeria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf).

IBERDROLA. (2020). Energías renovables para todos (SOLAR FOTOVOLTAICA). [http://www.enginyeria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno\\_FOTOVOLTAICA.pdf](http://www.enginyeria-classea.cat/pdf-formativos/Cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf).

Ideagreen. (2022). Obtenido de <https://ideagreen.es/hidrogeno-verde/tipos-de-electrolizadores/>

IDEAM. (2021). Atlas de radiación solar. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.andi.com.co/uploads/radiacion.compressed.pdf>

IRENA. (2020). INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY.

IRENA. (JULIO de 2023). INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Obtenido de INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY:

<https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/->

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/Renewable\\_energy\\_highlights\\_July\\_2023.pdf?rev=61160fc74ada4f0daa670f5003820602](https://media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/Renewable_energy_highlights_July_2023.pdf?rev=61160fc74ada4f0daa670f5003820602)

Laboral, I. G. (2015). PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN GRANJAS

AVÍCOLAS. En n. G. Laboral.

Ley 2099, G. N. (2021). Función publica. Obtenido de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

Ministerio Energía. (2021). Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.

NREL. (2023). <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-and-fuel-cell-technologies-office-multi-year-program-plan>.

QUIETCONNECT, S. (2023). cummins. Obtenido de:

<https://www.cummins.com/es/generators/quietconnecttm-series?v=3156&application=Small%20%20Business%20%20Standby>

S.A.S., X. (2024). Publicación indicadores de calidad anuales - Resolución CREG 015- 2018.

Obtenido de <https://www.xm.com.co/noticias/6626-publicacion-indicadores-de-calidad-anuales-resolucion-creg-015-2018>

Sánchez, M. L. (2023). EL HIDRÓGENO VERDE COMO NUEVO VECTOR ENERGÉTICO: UN ANÁLISIS DE SU FUNCIÓN COMO ENERGÍA

ALMACENABLE Y TRANSPORTABLE. Universidad Pontificia de Comillas, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.

Social), F. (. (s.f.). El Mercado de la Energía Eléctrica en Colombia: Características, Evolución e impacto sobre otros sectores.

Solar, C. (2020). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/06/21135332/CS-Datasheet-HiKu6\_CS6W-MS\_v2.1\_EN.pdf. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/06/21135332/CS-Datasheet-HiKu6\_CS6W-MS\_v2.1\_EN.pdf

SSPD, S. d. (2023). Colombia, Diagnóstico de la calidad del servicio de energía eléctrica en.

Sungrow. (2023). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://en.sungrowpower.com/upload/documentFile/DS\_SG33CX%20SG40CX%20SG50CX%20Datasheet\_V14\_EN.pdf.pdf.

Turbulent. (2023). Obtenido de <https://www.turbulent.be/projects>:  
<https://www.turbulent.be/projects>

U.S Department of Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2023). Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.energy.gov/eere/fuel-cells/articles/comparison-fuel-cell-technologies-fact-sheet

Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). UPME INTEGRACION DE LAS ENERGIAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN COLOMBIA. Obtenido de UPME INTEGRACION DE LAS ENERGIAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN COLOMBIA:  
[https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)

UPME. (2024). “Por la cual se modifica la Resolución 000762 de 2023, mediante la cual se actualizó el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional 2022 para el inventario de gases de efecto invernadero (GEI) y proyectos de mitigación del GEI.

Vector, H. (2024). <https://h2vector.com/productos>.

## Anexo 1. DETALLE CONSUMO GRANJA AVÍCOLA

77

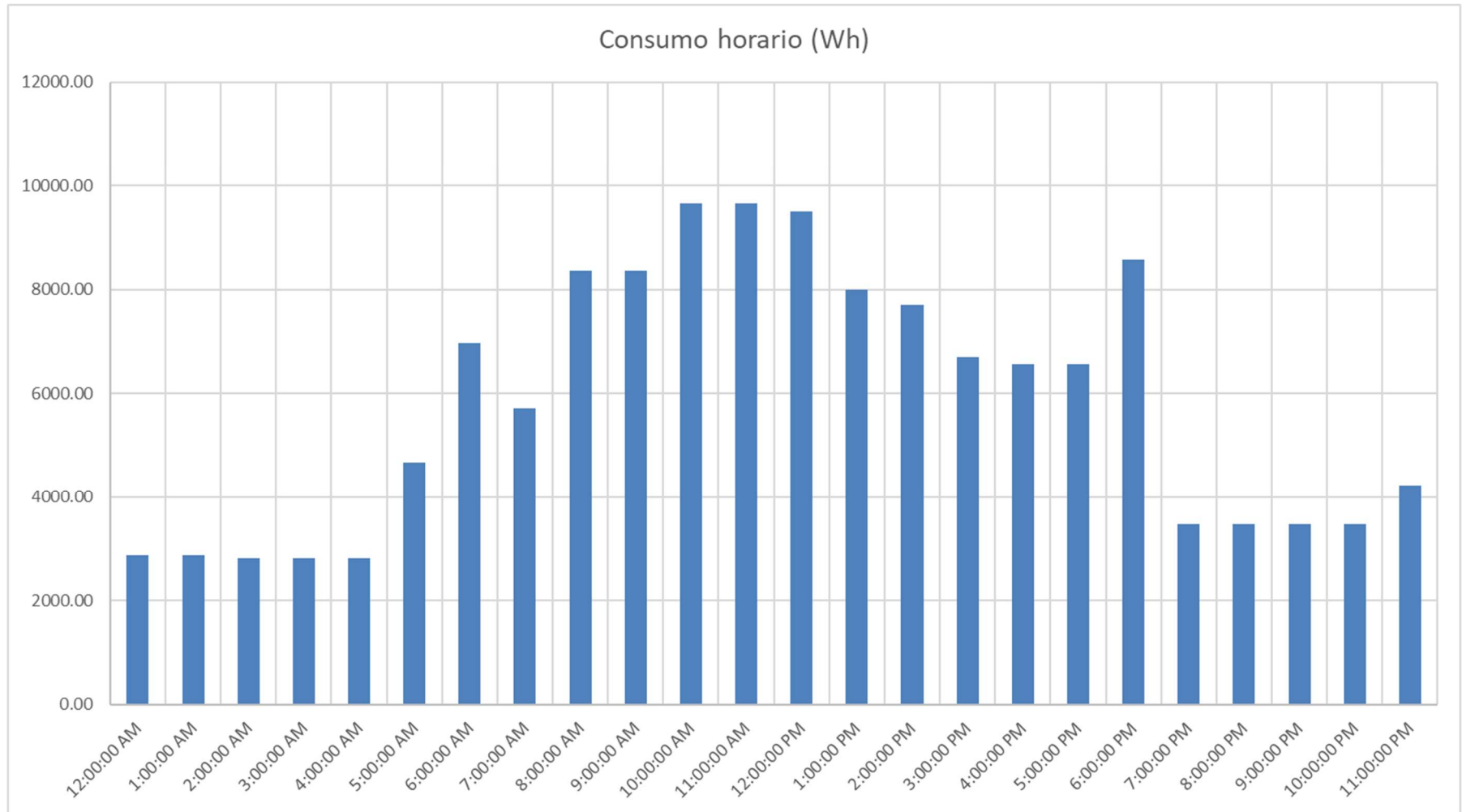
<b>MATRIZ TOTAL DE CONSUMO</b>								
#	DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN	POTENCIA (W)	CANTIDAD	HORAS (h)	ENERGÍA DIARIA (Wh)	DÍAS POR MES USO	CONSUMO TOTAL (Wh/mes)
1	LUCES LED	CASA EMPLEADOS	5	8	12	480	30	14.400
2	NEVERA	CASA EMPLEADOS	400	1	24	9.600	30	288.000
3	TELEVISIÓN	CASA EMPLEADOS	200	1	6	1.200	30	36.000
4	AIRE ACONDICIONADO	CASA EMPLEADOS	1.200	1	12	14.400	30	432.000
5	VENTILADORES	CASA EMPLEADOS	150	2	4	1.200	30	36.000
6	LAVADORA	CASA EMPLEADOS	1.700	1	4	6.800	4	27.200
7	ILUMINACIÓN GENERAL	FINCA	20	40	14	11.200	30	336.000
8	SISTEMA DE CÁMARAS DE VIDEO	FINCA	350	1	24	8.400	30	252.000
9	HERRAMIENTAS MTTO	FINCA	500	2	5	5.000	5	25.000
10	BOMBAS DE AGUA GENERALES	FINCA	1.500	3	1	4.500	20	90.000
11	BOMBILLOS LED	CASA PROPIETARIOS	5	12	12	720	20	14.400
12	NEVERA	CASA PROPIETARIOS	550	1	24	13.200	30	396.000
13	TELEVISIÓN	CASA PROPIETARIOS	180	2	8	2.880	20	57.600
14	SISTEMA DE TELEVISIÓN SATELITAL	CASA PROPIETARIOS	120	1	24	2.880	20	57.600
15	AIRE ACONDICIONADO	CASA PROPIETARIOS	1.200	2	12	28.800	20	576.000
16	BOMBILLOS LED	GALPÓN 1	15	24	24	8.640	30	259.200
17	MOTOR SUMINISTRO COMIDA	GALPÓN 1	375	1	3	1.125	30	33.750
18	MOTOR BOMBA DE AGUA	GALPÓN 1	375	1	4	1.500	30	45.000
19	LUCES LED	GALPÓN 2	15	16	24	5.760	30	172.800
20	MOTOR SUMINISTRO COMIDA	GALPÓN 2	375	1	3	1.125	30	33.750
21	MOTOR BOMBA DE AGUA	GALPÓN 2	375	1	4	1.500	30	45.000
22	LUCES LED	ENFERMERÍA	10	4	12	480	20	9.600
23	VARIOS	FINCA	1.000	1	8	8.000	20	160.000
<b>TOTAL GENERAL</b>			<b>10.620,00</b>			<b>139.390</b>		<b>3.397.300</b>

<b>MATRIZ TOTAL DE CONSUMO DIURNO (6:00 am – 6:00 pm)</b>								
#	DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN	POTENCIA (W)	CANTIDAD	HORAS (h)	ENERGÍA DIARIA (Wh)	DÍAS POR MES USO	CONSUMO TOTAL (Wh/mes)
1	LUCES LED	CASA EMPLEADOS	5	8	4	320	30	9.600
2	NEVERA	CASA EMPLEADOS	400	1	12	4.800	30	144.000
3	TELEVISIÓN	CASA EMPLEADOS	200	1	2	200	30	6.000
4	AIRE ACONDICIONADO	CASA EMPLEADOS	1.200	1	4	9.600	30	288.000
5	VENTILADORES	CASA EMPLEADOS	150	2	3	1.200	30	36.000
6	LAVADORA	CASA EMPLEADOS	1.700	1	4	6.800	4	27.200
7	ILUMINACIÓN GENERAL	FINCA	20	40	2	1.600	30	48.000
8	SISTEMA DE CÁMARAS DE VIDEO	FINCA	350	1	12	4.200	30	126.000
9	HERRAMIENTAS MTTO	FINCA	500	2	4	5.000	5	25.000
10	BOMBAS DE AGUA GENERALES	FINCA	1.500	3	1	4.500	20	90.000
11	BOMBILLOS LED	CASA PROPIETARIOS	5	12	4	480	20	9.600
12	NEVERA	CASA PROPIETARIOS	550	1	12	4.400	30	132.000
13	TELEVISIÓN	CASA PROPIETARIOS	180	2	2	360	20	7.200
14	SISTEMA DE TELEVISIÓN SATELITAL	CASA PROPIETARIOS	120	1	12	960	20	19.200
15	AIRE ACONDICIONADO	CASA PROPIETARIOS	1.200	2	4	19.200	20	384.000
16	BOMBILLOS LED	GALPÓN 1	15	24	12	4.320	30	129.600
17	MOTOR SUMINISTRO COMIDA	GALPÓN 1	375	1	2	1.125	30	33.750
18	MOTOR BOMBA DE AGUA	GALPÓN 1	375	1	3	1.500	30	45.000
19	LUCES LED	GALPÓN 2	15	16	12	2.880	30	86.400
20	MOTOR SUMINISTRO COMIDA	GALPÓN 2	375	1	2	1.125	30	33.750
21	MOTOR BOMBA DE AGUA	GALPÓN 2	375	1	3	1.500	30	45.000
22	LUCES LED	ENFERMERÍA	10	4	6	320	20	6.400
23	VARIOS	FINCA	1.000	1	2	2.000	20	40.000
<b>TOTAL GENERAL</b>			<b>10.620</b>			<b>78.390</b>		<b>1.771.700</b>

**Curva de carga granja avícola. Fuente: Elaboración propia**

**MATRIZ TOTAL DE CONSUMO NOCTURNO (6:00 pm – 6:00 am)**

#	DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN	POTENCIA (W)	CANTIDAD	HORAS (h)	ENERGÍA DIARIA (Wh)	DÍAS POR MES USO	CONSUMO TOTAL (Wh/mes)
1	LUCES LED	CASA EMPLEADOS	5	8	4	160	30	4.800
2	NEVERA	CASA EMPLEADOS	400	1	12	6.400	30	192.000
3	TELEVISIÓN	CASA EMPLEADOS	200	1	5	1.000	30	30.000
4	AIRE ACONDICIONADO	CASA EMPLEADOS	1.200	1	4	4.800	30	144000
5	VENTILADORES	CASA EMPLEADOS	150	2	0	0	30	0
6	LAVADORA	CASA EMPLEADOS	1.700	1	0	0	4	0
7	ILUMINACIÓN GENERAL	FINCA	20	40	12	4.800	30	144.000
8	SISTEMA DE CÁMARAS DE VIDEO	FINCA	350	1	16	5.600	30	168.000
9	HERRAMIENTAS MTTO	FINCA	500	2	0	0	5	0
10	BOMBAS DE AGUA GENERALES	FINCA	1.500	3	0	0	20	0
11	BOMBILLOS LED	CASA PROPIETARIOS	5	12	4	240	20	4.800
12	NEVERA	CASA PROPIETARIOS	550	1	12	8.800	30	264.000
13	TELEVISIÓN	CASA PROPIETARIOS	180	2	7	2.520	20	50.400
14	SISTEMA DE TELEVISIÓN SATELITAL	CASA PROPIETARIOS	120	1	12	1.920	20	38.400
15	AIRE ACONDICIONADO	CASA PROPIETARIOS	1.200	2	4	9.600	20	192.000
16	BOMBILLOS LED	GALPÓN 1	15	24	12	5.760	30	172.800
17	MOTOR SUMINISTRO COMIDA	GALPÓN 1	375	1	0	0	30	0
18	MOTOR BOMBA DE AGUA	GALPÓN 1	375	1	0	0	30	0
19	LUCES LED	GALPÓN 2	15	16	12	3.840	30	115.200
20	MOTOR SUMINISTRO COMIDA	GALPÓN 2	375	1	0	0	30	0
21	MOTOR BOMBA DE AGUA	GALPÓN 2	375	1	0	0	30	0
22	LUCES LED	ENFERMERÍA	10	4	4	160	20	3.200
23	VARIOS	FINCA	1.000	6	6	6.000	20	12.000
<b>TOTAL GENERAL</b>			<b>10.620</b>			<b>59.720</b>		<b>1.592.000</b>

**Anexo 2. CURVA DE CARGA POR DIA EN GRANJA AVÍCOLA**

**Fuente: Elaboración propia.**

### Anexo 3. DATOS TECNICOS ELECTROLIZADOR.

HYDROGEN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (HEMS)	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
<b>VECTOR 160</b>	
<b>GENERACIÓN DE HIDRÓGENO</b>	
Número de Electrolizadores	16
Capacidad de Producción de Hidrógeno	8 Nm <sup>3</sup> /h
Calidad del Hidrógeno Producido	99,999%
Presión de Salida de Hidrógeno	hasta 40 barg
Consumo de energía con Auxiliares	51 kWh pico estimado <sup>1</sup>
Calidad Agua de Alimentación	< 20 µS/cm
Presión Agua de Entrada	1 - 4 barg
Operación Electrolizador	30.000 h
Consumo en Producción de Hidrógeno	40 – 51 kWh
<b>GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y CALOR</b>	
Modelo Pila de Combustible (FC)	PET3-B
Salida de Potencia Máxima DC	27,2 kW Eléctrica + 27,2 kW Calor
Voltaje DC <sup>4</sup>	186,4 – 117,8 V
Corriente DC	0 - 230 A
Potencia Salida AC <sup>2</sup>	27,2 kW @400 VAC
Consumo Auxiliar Electricidad + Generación de Calor	1,6 kWh
Consumo Máximo de Hidrógeno	308 NI/min
Calidad Mínima del Combustible Externo	Grado D ISO 14687-2:2008
Operación Pila de Combustible	24.000 h
<b>GENERAL</b>	
Sistema de Refrigeración	Refrigerado por Aire o Agua
Calidad del Agua de Refrigeración	< 10 µS/cm
Presión de Agua de Refrigeración	1 - 10 barg
Temperatura del Agua de Refrigeración	< 50 °C
Temperatura Ambiente	5 - 45 °C
Dimensiones (mm) (LxAxH)	4 x (600 x 600 x 2200) + 1200 x 650 x 1500
<b>ESTACIÓN DE RECARGA DE VEHÍCULOS DE HIDRÓGENO</b>	
FCV Suministro	Incluido <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Consumo de unidad de compresor de aire incluido. Unidad de compresión NO incluida en suministro.

<sup>2</sup> Opción de salida a elegir entre AC 400V 3P o DC 500V.

<sup>3</sup> Los modelos Vector 160 HRS y Vector 160 P2X cuentan con estación de recarga para vehículos de hidrógeno a 350 barg (tubería hasta 500 barg), con calidad de hidrógeno entregado del 99,999%.

<sup>4</sup> Voltaje fijo en DC a seleccionar entre 100 - 800 V.

Fuente: Fabricante (Vector, 2024)

## Anexo 4. FICHA TÉCNICA PANEL SOLAR.







### HiKu5 Mono

**475 W ~ 500 W**  
**CS3Y-475 | 480 | 485 | 490 | 495 | 500MS**

**MORE POWER**

- 500 W

Module power up to 500 W  
Module efficiency up to 21.2 %
- \$

Up to 4.0 % lower LCOE  
Up to 4.2 % lower system cost
- 📈

Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
- 🏠+

Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant
- ☀️

Better shading tolerance

**MORE RELIABLE**

- 🛡️

Minimizes micro-crack impacts
- ❄️

Heavy snow load up to 5400 Pa, enhanced wind load up to 2400 Pa\*

**12 Years** Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship\*

**25 Years** Linear Power Performance Warranty\*

**1<sup>st</sup> year power degradation no more than 2%**  
**Subsequent annual power degradation no more than 0.55%**

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

**MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\***

ISO 9001: 2015 / Quality management system  
 ISO 14001: 2015 / Standards for environmental management system  
 ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

**PRODUCT CERTIFICATES\***

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO  
 UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68  
 UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way







\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 46 GW deployed around the world since 2001.

\* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

**CANADIAN SOLAR INC.**  
 545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)



### Anexo 5. MAPA SOLAR UPME.

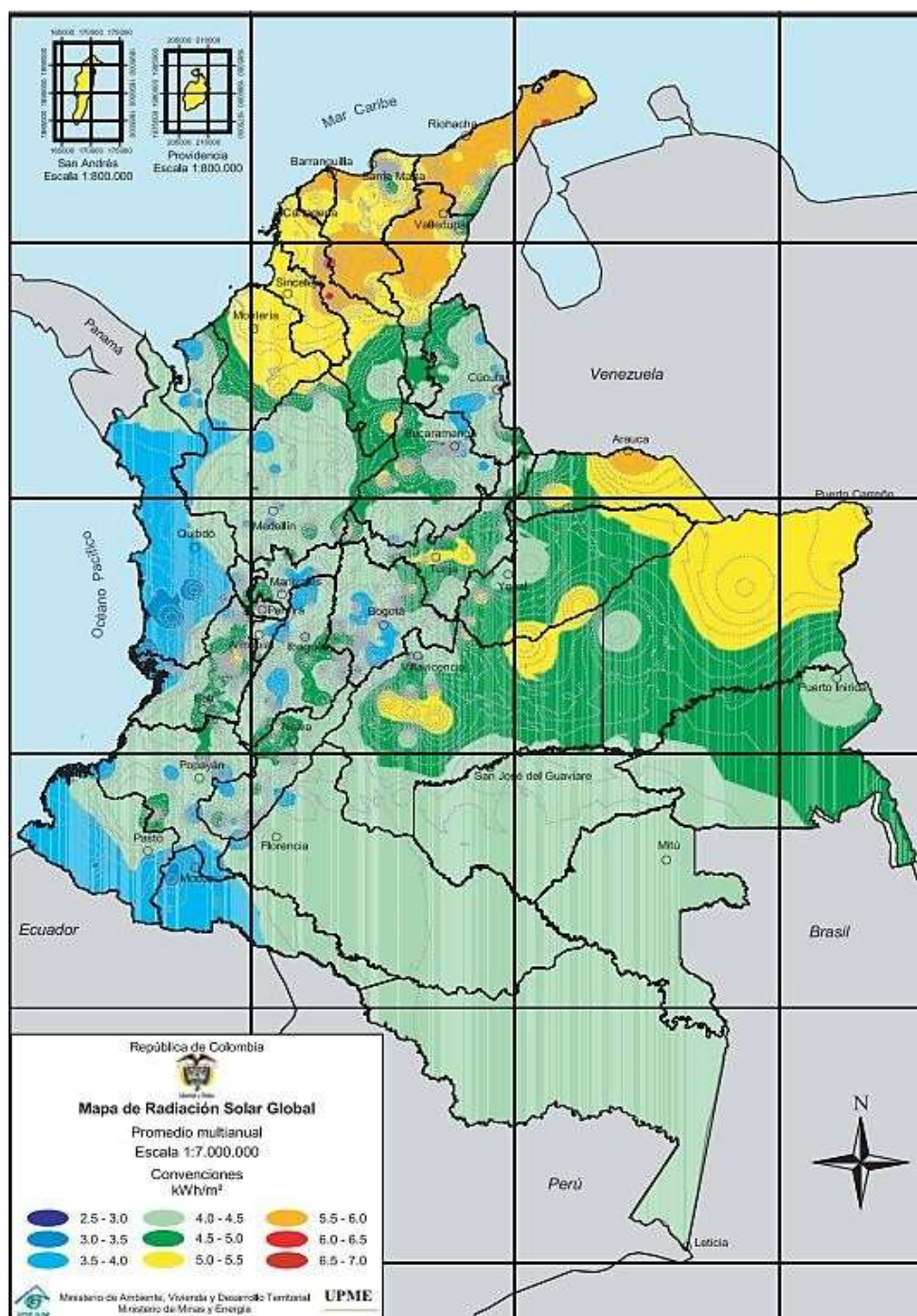


Ilustración 14. Mapa radiación. Fuente: UPME,2022

## Anexo 6. FICHA TECNICA INVERSORES SISTEMA FOTOVOLTAICO.

# SG33/50CX-P2

Inversor string multi-MPPT para sistemas de 1000 Vdc



### ALTO RENDIMIENTO

- 30 A de entrada de corriente DC, compatible con módulo FV superior a 500Wp+
- Modo de optimización con sombreado dinámico
- Función de recuperación PID incorporada

### O&M INTELIGENTE

- Diagnóstico y protección de componentes clave
- Diagnóstico de curva IV inteligente
- Función de registro de fallos en la red, sencillo para O&M remoto

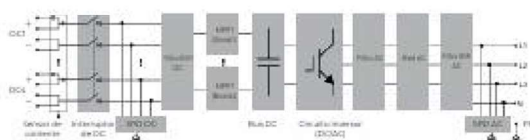
### MENOR INVERSIÓN

- Fácil manejo gracias al 34 % de reducción del peso
- Plug & play con diseño de broche

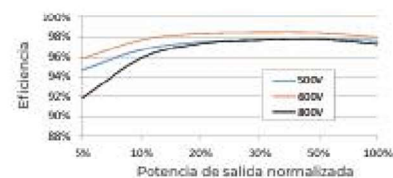
### SEGURIDAD DEMOSTRADA

- Protección IP66 y anticorrosión C5
- DC Tipo I+II SPD, AC Tipo II SPD
- Soporte para función AFCI 2.0

### DIAGRAMA DE CIRCUITO



### CURVA DE EFICIENCIA (SG33CX-P2)



Designación de tipo	SG33CX-P2	SG50CX-P2
<b>Entrada (DC)</b>		
Potencia de entrada FV máx. recomendada	46,2 kWp	70 Wp
Tensión máx. de entrada FV	1100 V	
Tensión mín. de entrada FV / Tensión de entrada de arranque	160 V / 200 V	
Tensión de entrada FV nominal	600 V	
Rango de tensión MPP	160 V - 1000 V	
N.º de entradas MPP independientes	3	4
N.º de cadenas FV por MPPT	2	2
Corriente máx. de entrada FV	90 A (30 A * 3)	120 A (30 A * 4)
Corriente de cortocircuito DC máx.	120 A (40 A * 3)	160 A (40 A * 4)
Corriente máx. para conector DC	20 A	
<b>Salida (AC)</b>		
Potencia de salida AC nominal	33 kVA	50 kVA
Máxima potencia aparente de salida AC	36,3 kVA <sup>1</sup>	55 kVA <sup>1</sup>
Corriente máx. de salida AC	55,2 A	83,6 A
Corriente de salida AC nominal (a 230 V)	47,8 A	72,5 A
Tensión AC nominal	1 / N / PE, 220 / 380 V, 230 / 400 V	
Rango de tensión AC	312 - 480 V	
Frecuencia nominal de red	50 Hz / 60 Hz	
Rango de frecuencia de red	45 - 55 Hz / 55 - 65 Hz	
Armónicos (THD)	< 3 % (a potencia nominal)	
Factor de potencia a potencia nominal / Factor de potencia ajustable	> 0,99 / 0,9 anterior - 0,9 posterior	
Fases de vertido / fases de conexión	1 / 3-N-PE	
<b>Eficiencia</b>		
Eficiencia máxima / Eficiencia europea	98,5% - 98,1%	98,5% - 98,3%
<b>Protección</b>		
Monitorización de red	Sí	
Protección contra conexión inversa DC	Sí	
Protección de cortocircuito AC	Sí	
Protección contra corriente de fuga	Sí	
Protección contra sobretensión	DC Tipo I+II / AC Tipo II	
Monitorización de fallo a tierra	Sí	
Interruptor de DC	Sí	
Monitorización de la corriente de string FV	Sí	
Función de extinción de arco (AFCI)	Sí	
Función de recuperación PID	Sí	
<b>Datos generales</b>		
Dimensiones (An*Al*P)	645*575*245 mm	
Método de montaje	Montaje en pared	
Peso	38 kg	41 kg
Topología	Sin transformador	
Grado de protección	IP66	
Corrosión	C5	
Consumo eléctrico nocturno	< 5W	
Temperatura ambiente de funcionamiento	-30 a 60 °C	
Humedad relativa admisible (sin condensación)	0 - 100 %	
Método de refrigeración	Refrigeración inteligente por aire forzado	
Altitud de funcionamiento máx.	4000 m	
Pantalla	LED, Bluetooth+APP	
Comunicación	RS485 / Opcional: WLAN, Ethernet	
Tipo de conexión DC	EVO2 (máx. 6 mm <sup>2</sup> )	
Tipo de conexión AC	Terminal OT (16-35 mm <sup>2</sup> )	Terminal OT o DT (35-50 mm <sup>2</sup> )
Especificación de cable AC	Diámetro exterior 18-38 mm	
Certificación de red	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, VDE-AR-N 4105:2018, VDE-AR-N 4110, IEC 61000-6-3, EN 50548-1, EN 50548-2, CEI 0-21:2019, CEI 0-21:2019, VDE 0126-1-0A1, VDE 0126-1-0A2, VDE 0126-1-0A3, VDE 0126-1-0A4, VDE 0126-1-0A5, VDE 0126-1-0A6, VDE 0126-1-0A7, VDE 0126-1-0A8, VDE 0126-1-0A9, VDE 0126-1-0A10, VDE 0126-1-0A11, VDE 0126-1-0A12, VDE 0126-1-0A13, VDE 0126-1-0A14, VDE 0126-1-0A15, VDE 0126-1-0A16, VDE 0126-1-0A17, VDE 0126-1-0A18, VDE 0126-1-0A19, VDE 0126-1-0A20, VDE 0126-1-0A21, VDE 0126-1-0A22, VDE 0126-1-0A23, VDE 0126-1-0A24, VDE 0126-1-0A25, VDE 0126-1-0A26, VDE 0126-1-0A27, VDE 0126-1-0A28, VDE 0126-1-0A29, VDE 0126-1-0A30, VDE 0126-1-0A31, VDE 0126-1-0A32, VDE 0126-1-0A33, VDE 0126-1-0A34, VDE 0126-1-0A35, VDE 0126-1-0A36, VDE 0126-1-0A37, VDE 0126-1-0A38, VDE 0126-1-0A39, VDE 0126-1-0A40, VDE 0126-1-0A41, VDE 0126-1-0A42, VDE 0126-1-0A43, VDE 0126-1-0A44, VDE 0126-1-0A45, VDE 0126-1-0A46, VDE 0126-1-0A47, VDE 0126-1-0A48, VDE 0126-1-0A49, VDE 0126-1-0A50, VDE 0126-1-0A51, VDE 0126-1-0A52, VDE 0126-1-0A53, VDE 0126-1-0A54, VDE 0126-1-0A55, VDE 0126-1-0A56, VDE 0126-1-0A57, VDE 0126-1-0A58, VDE 0126-1-0A59, VDE 0126-1-0A60, VDE 0126-1-0A61, VDE 0126-1-0A62, VDE 0126-1-0A63, VDE 0126-1-0A64, VDE 0126-1-0A65, VDE 0126-1-0A66, VDE 0126-1-0A67, VDE 0126-1-0A68, VDE 0126-1-0A69, VDE 0126-1-0A70, VDE 0126-1-0A71, VDE 0126-1-0A72, VDE 0126-1-0A73, VDE 0126-1-0A74, VDE 0126-1-0A75, VDE 0126-1-0A76, VDE 0126-1-0A77, VDE 0126-1-0A78, VDE 0126-1-0A79, VDE 0126-1-0A80, VDE 0126-1-0A81, VDE 0126-1-0A82, VDE 0126-1-0A83, VDE 0126-1-0A84, VDE 0126-1-0A85, VDE 0126-1-0A86, VDE 0126-1-0A87, VDE 0126-1-0A88, VDE 0126-1-0A89, VDE 0126-1-0A90, VDE 0126-1-0A91, VDE 0126-1-0A92, VDE 0126-1-0A93, VDE 0126-1-0A94, VDE 0126-1-0A95, VDE 0126-1-0A96, VDE 0126-1-0A97, VDE 0126-1-0A98, VDE 0126-1-0A99, VDE 0126-1-0A100, VDE 0126-1-0A101, VDE 0126-1-0A102, VDE 0126-1-0A103, VDE 0126-1-0A104, VDE 0126-1-0A105, VDE 0126-1-0A106, VDE 0126-1-0A107, VDE 0126-1-0A108, VDE 0126-1-0A109, VDE 0126-1-0A110, VDE 0126-1-0A111, VDE 0126-1-0A112, VDE 0126-1-0A113, VDE 0126-1-0A114, VDE 0126-1-0A115, VDE 0126-1-0A116, VDE 0126-1-0A117, VDE 0126-1-0A118, VDE 0126-1-0A119, VDE 0126-1-0A120, VDE 0126-1-0A121, VDE 0126-1-0A122, VDE 0126-1-0A123, VDE 0126-1-0A124, VDE 0126-1-0A125, VDE 0126-1-0A126, VDE 0126-1-0A127, VDE 0126-1-0A128, VDE 0126-1-0A129, VDE 0126-1-0A130, VDE 0126-1-0A131, VDE 0126-1-0A132, VDE 0126-1-0A133, VDE 0126-1-0A134, VDE 0126-1-0A135, VDE 0126-1-0A136, VDE 0126-1-0A137, VDE 0126-1-0A138, VDE 0126-1-0A139, VDE 0126-1-0A140, VDE 0126-1-0A141, VDE 0126-1-0A142, VDE 0126-1-0A143, VDE 0126-1-0A144, VDE 0126-1-0A145, VDE 0126-1-0A146, VDE 0126-1-0A147, VDE 0126-1-0A148, VDE 0126-1-0A149, VDE 0126-1-0A150, VDE 0126-1-0A151, VDE 0126-1-0A152, VDE 0126-1-0A153, VDE 0126-1-0A154, VDE 0126-1-0A155, VDE 0126-1-0A156, VDE 0126-1-0A157, VDE 0126-1-0A158, VDE 0126-1-0A159, VDE 0126-1-0A160, VDE 0126-1-0A161, VDE 0126-1-0A162, VDE 0126-1-0A163, VDE 0126-1-0A164, VDE 0126-1-0A165, VDE 0126-1-0A166, VDE 0126-1-0A167, VDE 0126-1-0A168, VDE 0126-1-0A169, VDE 0126-1-0A170, VDE 0126-1-0A171, VDE 0126-1-0A172, VDE 0126-1-0A173, VDE 0126-1-0A174, VDE 0126-1-0A175, VDE 0126-1-0A176, VDE 0126-1-0A177, VDE 0126-1-0A178, VDE 0126-1-0A179, VDE 0126-1-0A180, VDE 0126-1-0A181, VDE 0126-1-0A182, VDE 0126-1-0A183, VDE 0126-1-0A184, VDE 0126-1-0A185, VDE 0126-1-0A186, VDE 0126-1-0A187, VDE 0126-1-0A188, VDE 0126-1-0A189, VDE 0126-1-0A190, VDE 0126-1-0A191, VDE 0126-1-0A192, VDE 0126-1-0A193, VDE 0126-1-0A194, VDE 0126-1-0A195, VDE 0126-1-0A196, VDE 0126-1-0A197, VDE 0126-1-0A198, VDE 0126-1-0A199, VDE 0126-1-0A200, VDE 0126-1-0A201, VDE 0126-1-0A202, VDE 0126-1-0A203, VDE 0126-1-0A204, VDE 0126-1-0A205, VDE 0126-1-0A206, VDE 0126-1-0A207, VDE 0126-1-0A208, VDE 0126-1-0A209, VDE 0126-1-0A210, VDE 0126-1-0A211, VDE 0126-1-0A212, VDE 0126-1-0A213, VDE 0126-1-0A214, VDE 0126-1-0A215, VDE 0126-1-0A216, VDE 0126-1-0A217, VDE 0126-1-0A218, VDE 0126-1-0A219, VDE 0126-1-0A220, VDE 0126-1-0A221, VDE 0126-1-0A222, VDE 0126-1-0A223, VDE 0126-1-0A224, VDE 0126-1-0A225, VDE 0126-1-0A226, VDE 0126-1-0A227, VDE 0126-1-0A228, VDE 0126-1-0A229, VDE 0126-1-0A230, VDE 0126-1-0A231, VDE 0126-1-0A232, VDE 0126-1-0A233, VDE 0126-1-0A234, VDE 0126-1-0A235, VDE 0126-1-0A236, VDE 0126-1-0A237, VDE 0126-1-0A238, VDE 0126-1-0A239, VDE 0126-1-0A240, VDE 0126-1-0A241, VDE 0126-1-0A242, VDE 0126-1-0A243, VDE 0126-1-0A244, VDE 0126-1-0A245, VDE 0126-1-0A246, VDE 0126-1-0A247, VDE 0126-1-0A248, VDE 0126-1-0A249, VDE 0126-1-0A250, VDE 0126-1-0A251, VDE 0126-1-0A252, VDE 0126-1-0A253, VDE 0126-1-0A254, VDE 0126-1-0A255, VDE 0126-1-0A256, VDE 0126-1-0A257, VDE 0126-1-0A258, VDE 0126-1-0A259, VDE 0126-1-0A260, VDE 0126-1-0A261, VDE 0126-1-0A262, VDE 0126-1-0A263, VDE 0126-1-0A264, VDE 0126-1-0A265, VDE 0126-1-0A266, VDE 0126-1-0A267, VDE 0126-1-0A268, VDE 0126-1-0A269, VDE 0126-1-0A270, VDE 0126-1-0A271, VDE 0126-1-0A272, VDE 0126-1-0A273, VDE 0126-1-0A274, VDE 0126-1-0A275, VDE 0126-1-0A276, VDE 0126-1-0A277, VDE 0126-1-0A278, VDE 0126-1-0A279, VDE 0126-1-0A280, VDE 0126-1-0A281, VDE 0126-1-0A282, VDE 0126-1-0A283, VDE 0126-1-0A284, VDE 0126-1-0A285, VDE 0126-1-0A286, VDE 0126-1-0A287, VDE 0126-1-0A288, VDE 0126-1-0A289, VDE 0126-1-0A290, VDE 0126-1-0A291, VDE 0126-1-0A292, VDE 0126-1-0A293, VDE 0126-1-0A294, VDE 0126-1-0A295, VDE 0126-1-0A296, VDE 0126-1-0A297, VDE 0126-1-0A298, VDE 0126-1-0A299, VDE 0126-1-0A300, VDE 0126-1-0A301, VDE 0126-1-0A302, VDE 0126-1-0A303, VDE 0126-1-0A304, VDE 0126-1-0A305, VDE 0126-1-0A306, VDE 0126-1-0A307, VDE 0126-1-0A308, VDE 0126-1-0A309, VDE 0126-1-0A310, VDE 0126-1-0A311, VDE 0126-1-0A312, VDE 0126-1-0A313, VDE 0126-1-0A314, VDE 0126-1-0A315, VDE 0126-1-0A316, VDE 0126-1-0A317, VDE 0126-1-0A318, VDE 0126-1-0A319, VDE 0126-1-0A320, VDE 0126-1-0A321, VDE 0126-1-0A322, VDE 0126-1-0A323, VDE 0126-1-0A324, VDE 0126-1-0A325, VDE 0126-1-0A326, VDE 0126-1-0A327, VDE 0126-1-0A328, VDE 0126-1-0A329, VDE 0126-1-0A330, VDE 0126-1-0A331, VDE 0126-1-0A332, VDE 0126-1-0A333, VDE 0126-1-0A334, VDE 0126-1-0A335, VDE 0126-1-0A336, VDE 0126-1-0A337, VDE 0126-1-0A338, VDE 0126-1-0A339, VDE 0126-1-0A340, VDE 0126-1-0A341, VDE 0126-1-0A342, VDE 0126-1-0A343, VDE 0126-1-0A344, VDE 0126-1-0A345, VDE 0126-1-0A346, VDE 0126-1-0A347, VDE 0126-1-0A348, VDE 0126-1-0A349, VDE 0126-1-0A350, VDE 0126-1-0A351, VDE 0126-1-0A352, VDE 0126-1-0A353, VDE 0126-1-0A354, VDE 0126-1-0A355, VDE 0126-1-0A356, VDE 0126-1-0A357, VDE 0126-1-0A358, VDE 0126-1-0A359, VDE 0126-1-0A360, VDE 0126-1-0A361, VDE 0126-1-0A362, VDE 0126-1-0A363, VDE 0126-1-0A364, VDE 0126-1-0A365, VDE 0126-1-0A366, VDE 0126-1-0A367, VDE 0126-1-0A368, VDE 0126-1-0A369, VDE 0126-1-0A370, VDE 0126-1-0A371, VDE 0126-1-0A372, VDE 0126-1-0A373, VDE 0126-1-0A374, VDE 0126-1-0A375, VDE 0126-1-0A376, VDE 0126-1-0A377, VDE 0126-1-0A378, VDE 0126-1-0A379, VDE 0126-1-0A380, VDE 0126-1-0A381, VDE 0126-1-0A382, VDE 0126-1-0A383, VDE 0126-1-0A384, VDE 0126-1-0A385, VDE 0126-1-0A386, VDE 0126-1-0A387, VDE 0126-1-0A388, VDE 0126-1-0A389, VDE 0126-1-0A390, VDE 0126-1-0A391, VDE 0126-1-0A392, VDE 0126-1-0A393, VDE 0126-1-0A394, VDE 0126-1-0A395, VDE 0126-1-0A396, VDE 0126-1-0A397, VDE 0126-1-0A398, VDE 0126-1-0A399, VDE 0126-1-0A400, VDE 0126-1-0A401, VDE 0126-1-0A402, VDE 0126-1-0A403, VDE 0126-1-0A404, VDE 0126-1-0A405, VDE 0126-1-0A406, VDE 0126-1-0A407, VDE 0126-1-0A408, VDE 0126-1-0A409, VDE 0126-1-0A410, VDE 0126-1-0A411, VDE 0126-1-0A412, VDE 0126-1-0A413, VDE 0126-1-0A414, VDE 0126-1-0A415, VDE 0126-1-0A416, VDE 0126-1-0A417, VDE 0126-1-0A418, VDE 0126-1-0A419, VDE 0126-1-0A420, VDE 0126-1-0A421, VDE 0126-1-0A422, VDE 0126-1-0A423, VDE 0126-1-0A424, VDE 0126-1-0A425, VDE 0126-1-0A426, VDE 0126-1-0A427, VDE 0126-1-0A428, VDE 0126-1-0A429, VDE 0126-1-0A430, VDE 0126-1-0A431, VDE 0126-1-0A432, VDE 0126-1-0A433, VDE 0126-1-0A434, VDE 0126-1-0A435, VDE 0126-1-0A436, VDE 0126-1-0A437, VDE 0126-1-0A438, VDE 0126-1-0A439, VDE 0126-1-0A440, VDE 0126-1-0A441, VDE 0126-1-0A442, VDE 0126-1-0A443, VDE 0126-1-0A444, VDE 0126-1-0A445, VDE 0126-1-0A446, VDE 0126-1-0A447, VDE 0126-1-0A448, VDE 0126-1-0A449, VDE 0126-1-0A450, VDE 0126-1-0A451, VDE 0126-1-0A452, VDE 0126-1-0A453, VDE 0126-1-0A454, VDE 0126-1-0A455, VDE 0126-1-0A456, VDE 0126-1-0A457, VDE 0126-1-0A458, VDE 0126-1-0A459, VDE 0126-1-0A460, VDE 0126-1-0A461, VDE 0126-1-0A462, VDE 0126-1-0A463, VDE 0126-1-0A464, VDE 0126-1-0A465, VDE 0126-1-0A466, VDE 0126-1-0A467, VDE 0126-1-0A468, VDE 0126-1-0A469, VDE 0126-1-0A470, VDE 0126-1-0A471, VDE 0126-1-0A472, VDE 0126-1-0A473, VDE 0126-1-0A474, VDE 0126-1-0A475, VDE 0126-1-0A476, VDE 0126-1-0A477, VDE 0126-1-0A478, VDE 0126-1-0A479, VDE 0126-1-0A480, VDE 0126-1-0A481, VDE 0126-1-0A482, VDE 0126-1-0A483, VDE 0126-1-0A484, VDE 0126-1-0A485, VDE 0126-1-0A486, VDE 0126-1-0A487, VDE 0126-1-0A488, VDE 0126-1-0A489, VDE 0126-1-0A490, VDE 0126-1-0A491, VDE 0126-1-0A492, VDE 0126-1-0A493, VDE 0126-1-0A494, VDE 0126-1-0A495, VDE 0126-1-0A496, VDE 0126-1-0A497, VDE 0126-1-0A498, VDE 0126-1-0A499, VDE 0126-1-0A500, VDE 0126-1-0A501, VDE 0126-1-0A502, VDE 0126-1-0A503, VDE 0126-1-0A504, VDE 0126-1-0A505, VDE 0126-1-0A506, VDE 0126-1-0A507, VDE 0126-1-0A508, VDE 0126-1-0A509, VDE 0126-1-0A510, VDE 0126-1-0A511, VDE 0126-1-0A512, VDE 0126-1-0A513, VDE 0126-1-0A514, VDE 0126-1-0A515, VDE 0126-1-0A516, VDE 0126-1-0A517, VDE 0126-1-0A518, VDE 0126-1-0A519, VDE 0126-1-0A520, VDE 0126-1-0A521, VDE 0126-1-0A522, VDE 0126-1-0A523, VDE 0126-1-0A524, VDE 0126-1-0A525, VDE 0126-1-0A526, VDE 0126-1-0A527, VDE 0126-1-0A528, VDE 0126-1-0A529, VDE 0126-1-0A530, VDE 0126-1-0A531, VDE 0126-1-0A532, VDE 0126-1-0A533, VDE 0126-1-0A534, VDE 0126-1-0A535, VDE 0126-1-0A536, VDE 0126-1-0A537, VDE 0126-1-0A538, VDE 0126-1-0A539, VDE 0126-1-0A540, VDE 0126-1-0A541, VDE 0126-1-0A542, VDE 0126-1-0A543, VDE 0126-1-0A544, VDE 0126-1-0A545, VDE 0126-1-0A546, VDE 0126-1-0A547, VDE 0126-1-0A548, VDE 0126-1-0A549, VDE 0126-1-0A550, VDE 0126-1-0A551, VDE 0126-1-0A552, VDE 0126-1-0A553, VDE 0126-1-0A554, VDE 0126-1-0A555, VDE 0126-1-0A556, VDE 0126-1-0A557, VDE 0126-1-0A558, VDE 0126-1-0A559, VDE 0126-1-0A560, VDE 0126-1-0A561, VDE 0126-1-0A562, VDE 0126-1-0A563, VDE 0126-1-0A564, VDE 0126-1-0A565, VDE 0126-1-0A566, VDE 0126-1-0A567, VDE 0126-1-0A568, VDE 0126-1-0A569, VDE 0126-1-0A570, VDE 0126-1-0A571, VDE 0126-1-0A572, VDE 0126-1-0A573, VDE 0126-1-0A574, VDE 0126-1-0A575, VDE 0126-1-0A576, VDE 0126-1-0A577, VDE 0126-1-0A578, VDE 0126-1-0A579, VDE 0126-1-0A580, VDE 0126-1-0A581, VDE 0126-1-0A582, VDE 0126-1-0A583, VDE 0126-1-0A584, VDE 0126-1-0A585, VDE 0126-1-0A586, VDE 0126-1-0A587, VDE 0126-1-0A588, VDE 0126-1-0A589, VDE 0126-1-0A590, VDE 0126-1-0A591, VDE 0126-1-0A592, VDE 0126-1-0A593, VDE 0126-1-0A594, VDE 0126-1-0A595, VDE 0126-1-0A596, VDE 0126-1-0A597, VDE 0126-1-0A598, VDE 0126-1-0A599, VDE 0126-1-0A600, VDE 0126-1-0A601, VDE 0126-1-0A602, VDE 0126-1-0A603, VDE 0126-1-0A604, VDE 0126-1-0A605, VDE 0126-1-0A606, VDE 0126-1-0A607, VDE 0126-1-0A608, VDE 0126-1-0A609, VDE 0126-1-0A610, VDE 0126-1-0A611, VDE 0126-1-0A612, VDE 0126-1-0A613, VDE 0126-1-0A614, VDE 0126-1-0A615, VDE 0126-1-0A616, VDE 0126-1-0A617, VDE 0126-1-0A618, VDE 0126-1-0A619, VDE 0126-1-0A620, VDE 0126-1-0A621, VDE 0126-1-0A622, VDE 0126-1-0A623, VDE 0126-1-0A624, VDE 0126-1-0A625, VDE 0126-1-0A626, VDE 0126-1-0A627, VDE 0126-1-0A628, VDE 0126-1-0A629, VDE 0126-1-0A630, VDE 0126-1-0A631, VDE 0126-1-0A632, VDE 0126-1-0A633, VDE 0126-1-0A634, VDE 0126-1-0A635, VDE 0126-1-0A636, VDE 0126-1-0A637, VDE 0126-1-0A638, VDE 0126-1-0A63	

**Anexo 7. INFORME PVSYST SIMULACIÓN.**

PVsyst V8.0.7

**PVsyst - Informe de simulación**Sistema conectado a la red

Proyecto: Granja Avicola 2

Variante: Paneles fijos

Cobertizos en el suelo

Potencia del sistema: 182 kWp

Bituima - Colombia



PVsyst V8.0.7

VC1, Fecha de simulación:  
09/03/25 21:16  
con V8.0.7

## Proyecto: Granja Avicola 2

Variante: Paneles fijos

Resumen del proyecto		
<b>Sitio geográfico</b>	<b>Situación</b>	<b>Configuración del proyecto</b>
Bituma	Latitud 4.87 °N	Albedo 0.20
Colombia	Longitud -74.52 °W	
	Altitud 1114 m	
	Zona horaria UTC-5	
<b>Datos meteo</b>		
Bituma		
SolarGIS Monthly aver. , period not spec. - Sintético		

Resumen del sistema			
<b>Sistema conectado a la red</b>	<b>Cobertizos en el suelo</b>	<b>Necesidades del usuario</b>	
<b>Orientación #1</b>	<b>Sombreados cercanos</b>	Carga ilimitada (red)	
Piano fijo	Sombreados lineales : Rapido (tabla)		
Inclinación/Azimut 30 / 0 °			
<b>Información del sistema</b>			
<b>Generador FV</b>	<b>Inversores</b>		
Núm. de módulos 364 unidades	Núm. de unidades 6 unidades		
Pnom total 182 kWp	Pnom total 198 kWca		
	Proporción Pnom 0.919		

Resumen de resultados					
Energía producida	223.67 MWh/año	Producción específica	1229 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR	77.88 %

Tabla de contenido	
Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema	3
Definición del sombreado cercano - Diagrama de Iso-sombreados	5
Resultados principales	6
Diagrama de pérdida	7
Graficos predefinidos	8
Diagrama unificar	14





Proyecto: Granja Avicola 2

Variante: Paneles fijos

PVsyst V8.0.7

VC1, Fecha de simulación:  
09/03/25 21:16  
con V8.0.7

#### Pérdidas del conjunto

##### Corrección espectral

Modelo FirstSolar

Agua precipitable estimada a partir de la humedad relativa

Conjunto de coeficientes	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Monocrystalline Si	0.85914	-0.02088	-0.0058853	0.12029	0.026814	-0.001781

#### Pérdidas del sistema

##### Indisponibilidad del sistema

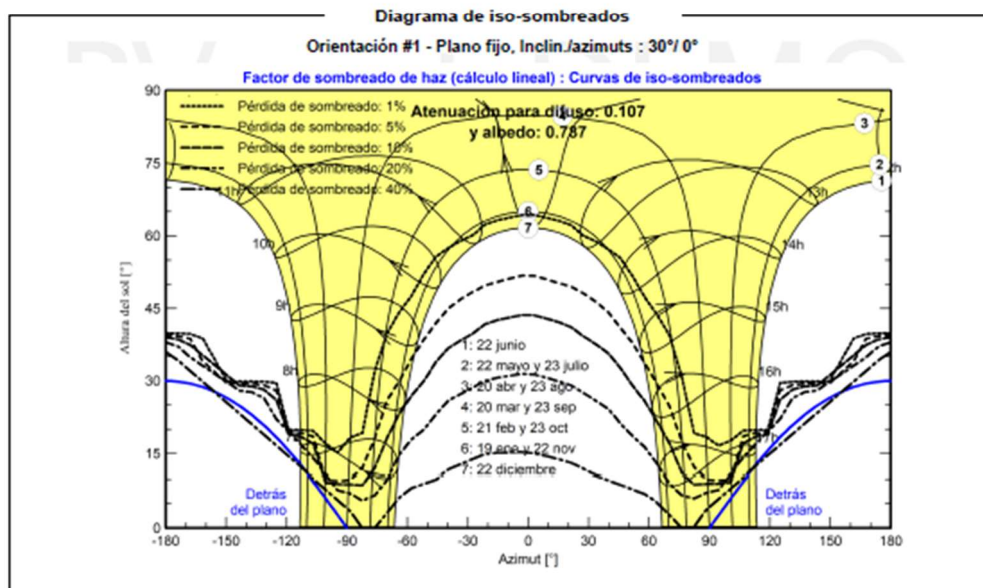
Frac. de tiempo 1.0 %  
3.7 días,  
5 periodos



PVsyst V8.0.7  
 VC1, Fecha de simulación:  
 09/03/25 21:16  
 con V8.0.7

Proyecto: Granja Avicola 2

Variante: Paneles fijos





## Proyecto: Granja Avicola 2

Variante: Paneles fijos

PVsyst V8.0.7

VC1, Fecha de simulación:  
09/03/25 21:16  
con V8.0.7

### Resultados principales

#### Producción del sistema

Energía producida

223.67 MWh/año

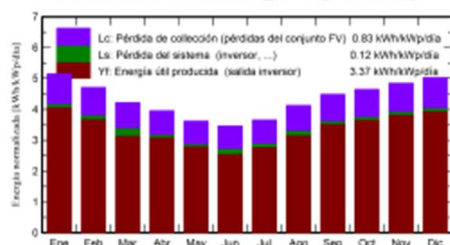
Producción específica

1229 kWh/kWp/año

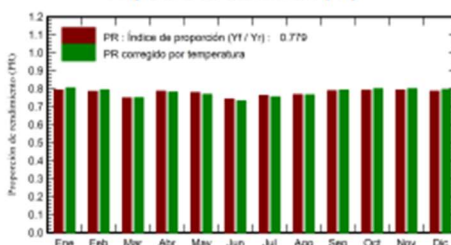
Proporción rend. PR

77.88 %

#### Producciones normalizadas (por kWp instalado)



#### Proporción de rendimiento (PR)



### Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR proporción
Enero	144.2	74.40	21.20	159.8	142.6	23.63	23.05	0.792
Febrero	127.1	72.30	21.50	131.8	117.6	19.50	18.85	0.786
Marzo	138.7	86.00	21.40	130.8	115.3	19.24	17.81	0.748
Abril	137.1	80.70	21.20	118.7	103.8	17.42	16.99	0.786
Mayo	141.4	78.30	21.10	112.2	96.7	16.31	15.90	0.779
Junio	138.7	72.40	21.00	103.8	88.6	14.96	14.03	0.743
Julio	148.9	74.80	21.10	113.3	97.5	16.45	15.76	0.764
Agosto	153.0	78.80	21.50	127.8	112.3	18.78	17.88	0.769
Septiembre	149.0	79.40	21.60	134.7	119.3	19.84	19.24	0.789
Octubre	144.9	79.60	21.00	144.0	128.4	21.29	20.76	0.792
Noviembre	134.1	73.80	20.70	145.4	129.0	21.51	20.98	0.793
Diciembre	139.0	73.00	20.89	155.9	137.7	22.88	22.32	0.787
Año	1696.1	923.49	21.18	1578.0	1389.0	231.80	223.67	0.779

#### Leyendas

GlobHor Irradiación horizontal global

DiffHor Irradiación difusa horizontal

T\_Amb Temperatura ambiente

GlobInc Global incidente plano receptor

GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

EArray Energía efectiva a la salida del conjunto

E\_Grid Energía inyectada en la red

PR Proporción de rendimiento

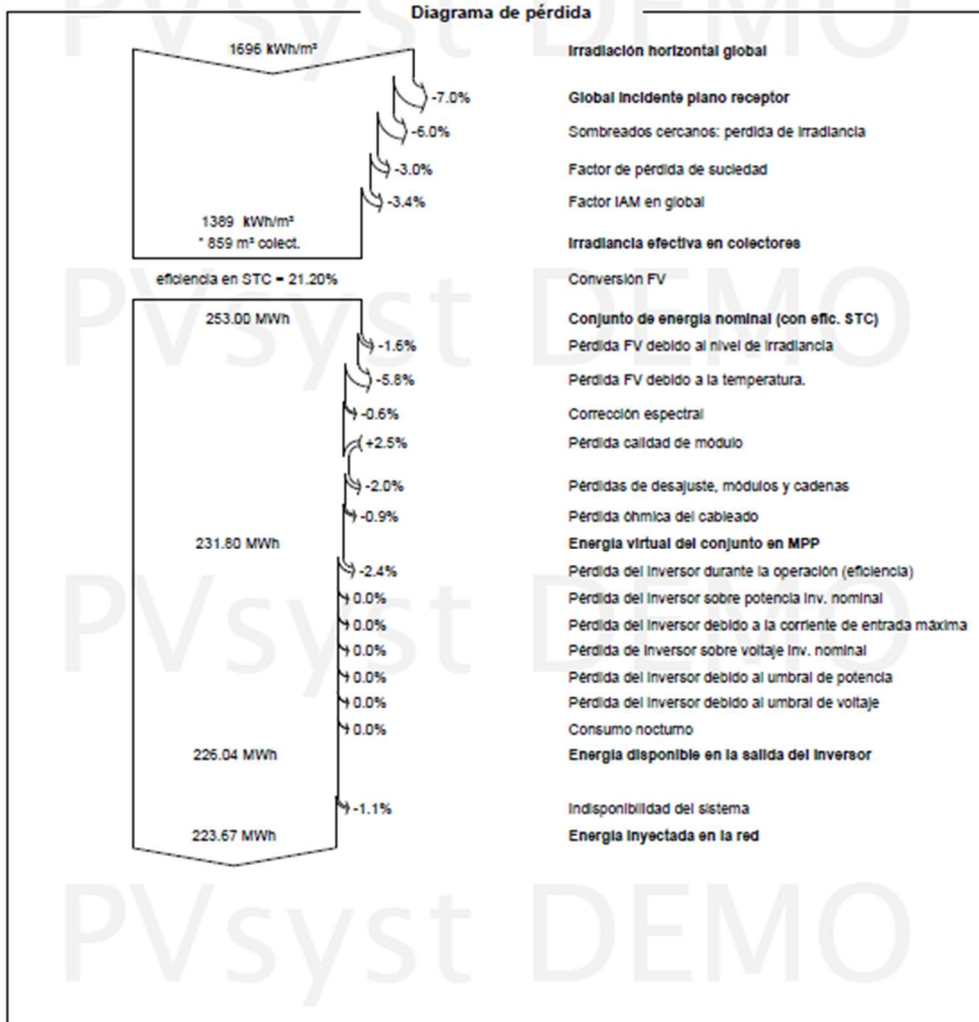


PVsyst V8.0.7  
 VC1, Fecha de simulación:  
 09/03/25 21:16  
 con V8.0.7

## Proyecto: Granja Avicola 2

Variante: Paneles fijos

### Diagrama de pérdida



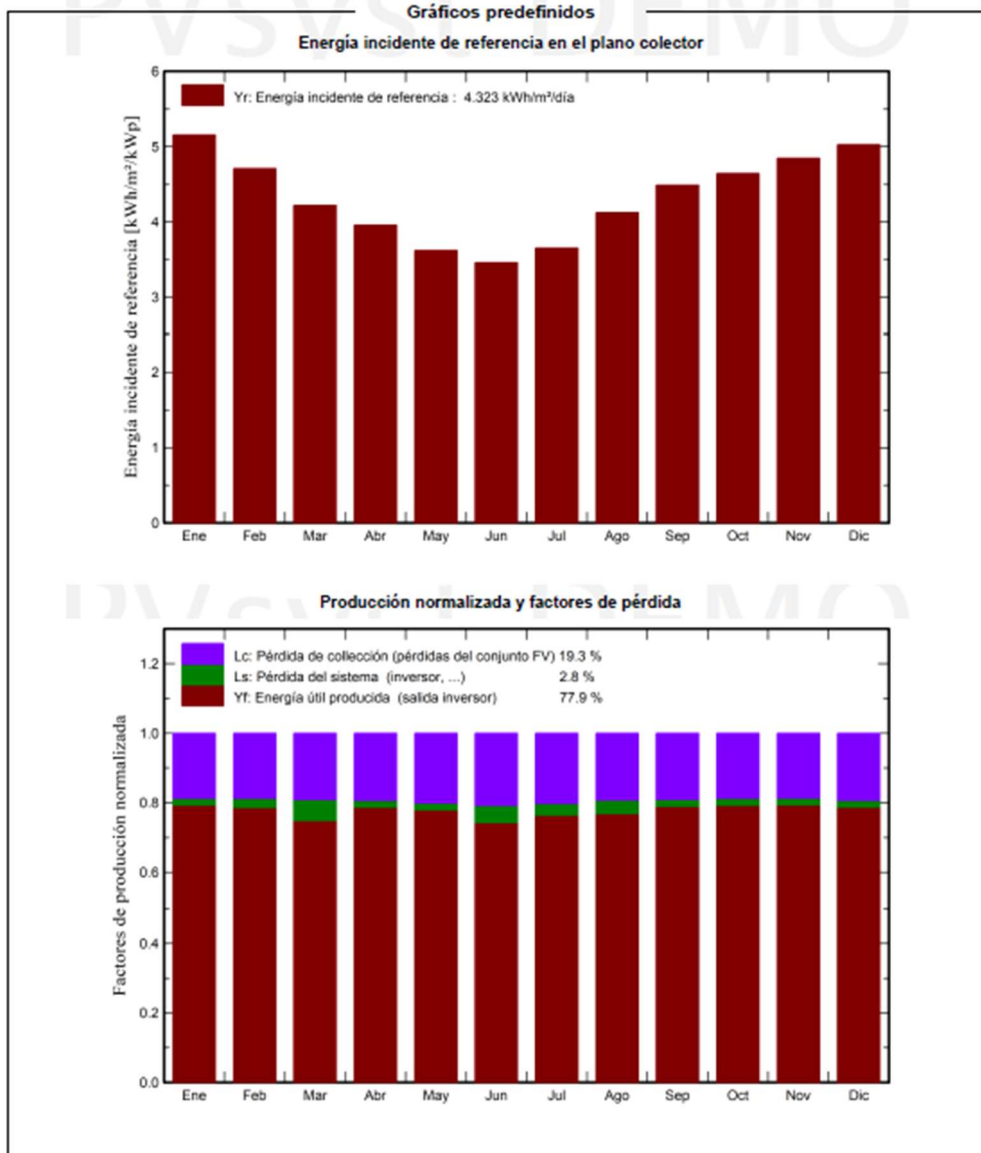


Proyecto: Granja Avicola 2

Variante: Paneles fijos

PVsyst V8.0.7

VC1, Fecha de simulación:  
09/03/25 21:16  
con V8.0.7





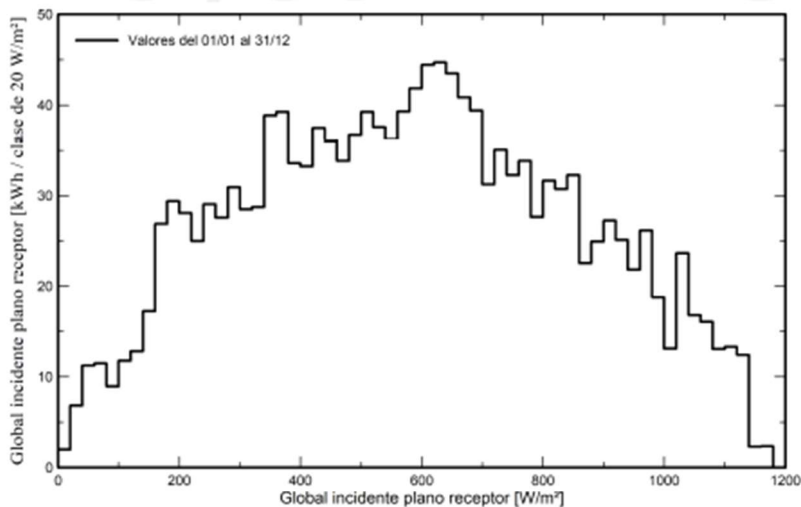
PVsyst V8.0.7  
 VC1, Fecha de simulación:  
 09/03/25 21:16  
 con V8.0.7

Proyecto: Granja Avicola 2

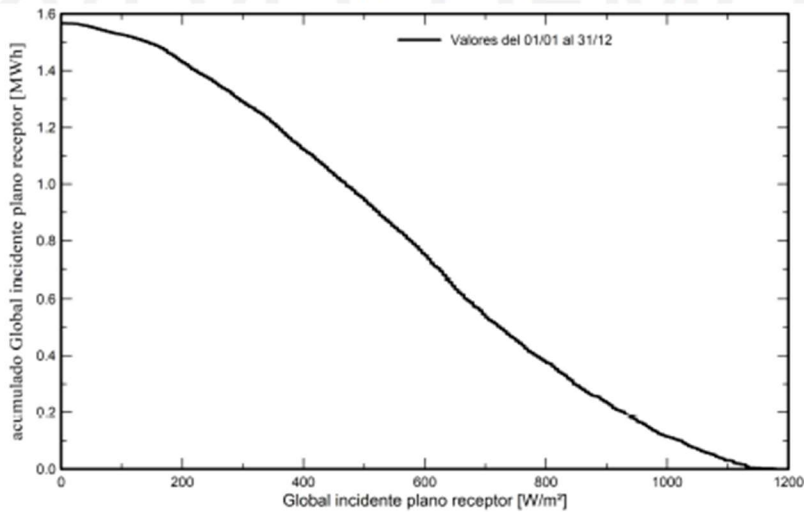
Variante: Paneles fijos

Gráficos predefinidos

Incident Irradiation Distribution



Incident irradiation cumulative distribution





PVsyst V8.0.7  
 VC1, Fecha de simulación:  
 09/03/25 21:16  
 con V8.0.7

Proyecto: Granja Avicola 2

Variante: Paneles fijos

Gráficos predefinidos

Array Temperature vs. Effective Irradiance

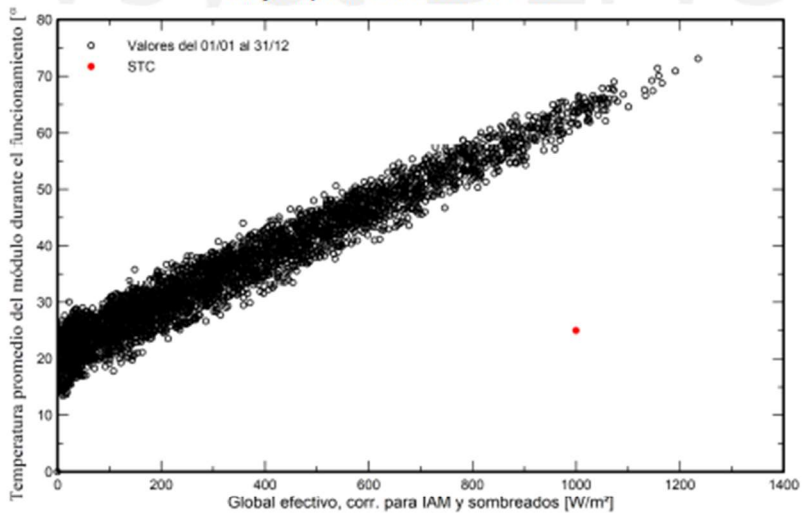
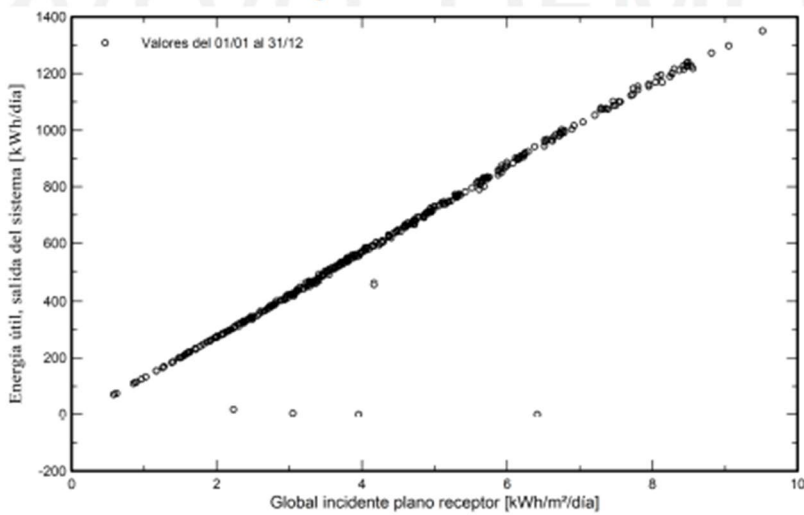


Diagrama entrada/salida diaria

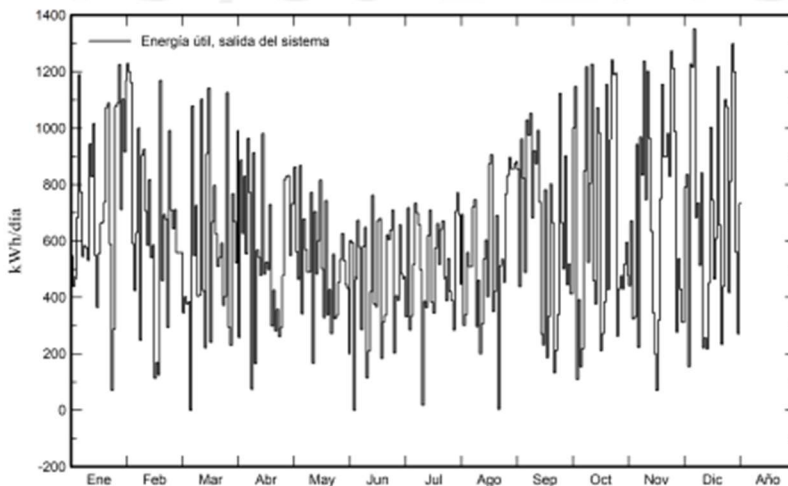




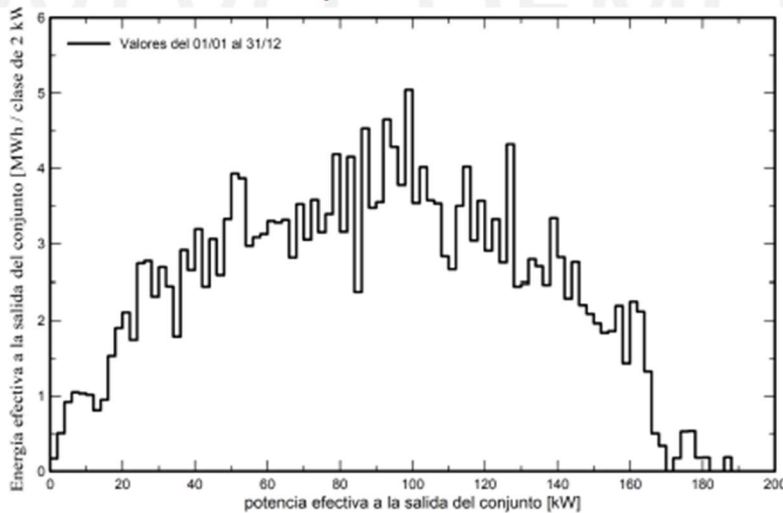
PVsyst V8.0.7  
 VC1, Fecha de simulación:  
 09/03/25 21:16  
 con V8.0.7

Proyecto: Granja Avicola 2  
 Variante: Paneles fijos

Gráficos predefinidos  
 Daily System Output Energy



Array Power Distribution





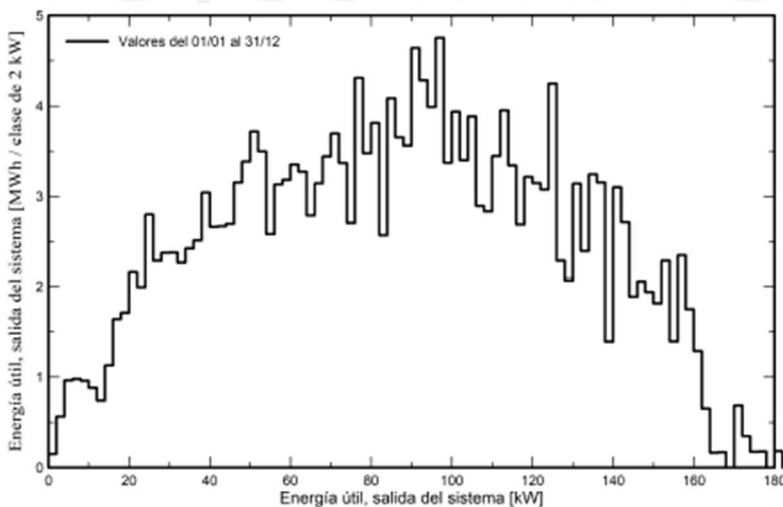
PVsyst V8.0.7  
 VC1, Fecha de simulación:  
 09/03/25 21:16  
 con V8.0.7

Proyecto: Granja Avicola 2

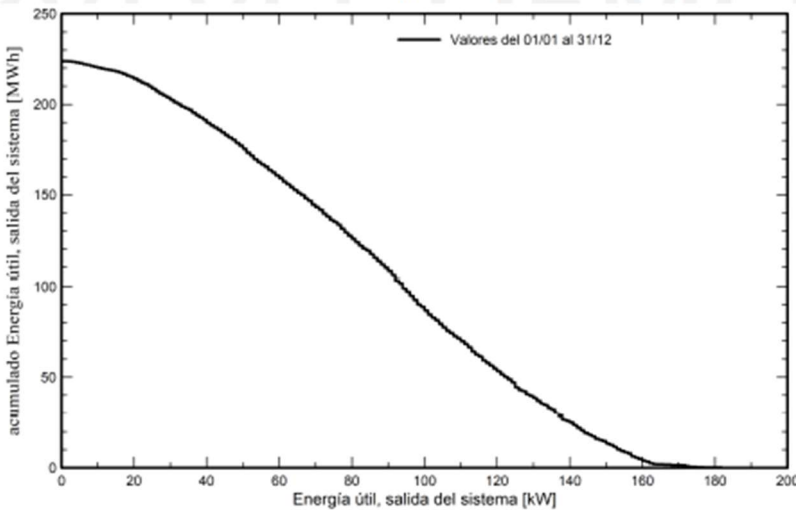
Variante: Paneles fijos

Gráficos predefinidos

Distribución de potencia de salida del sistema



Distribución acumulativa de la potencia de salida del sistema



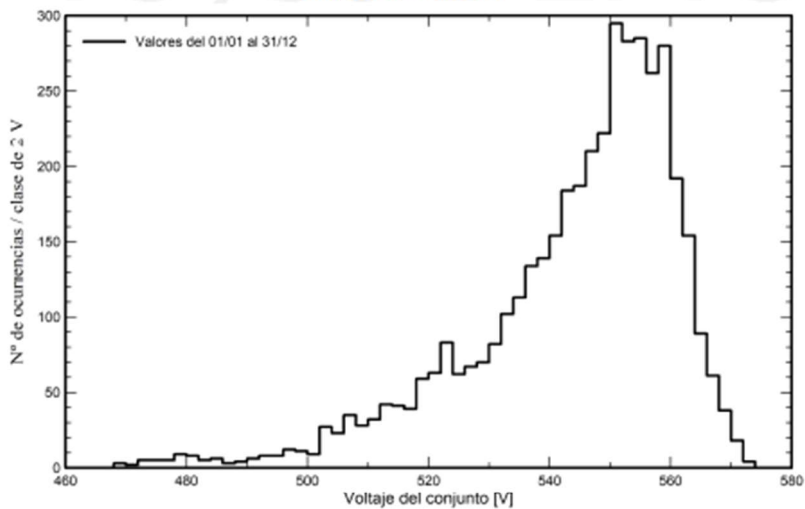


PVsyst V8.0.7  
 VC1, Fecha de simulación:  
 09/03/25 21:16  
 con V8.0.7

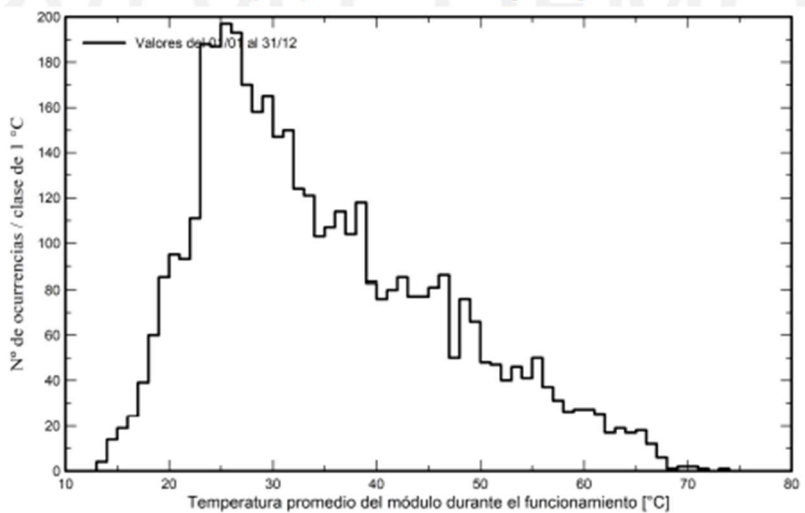
Proyecto: Granja Avicola 2

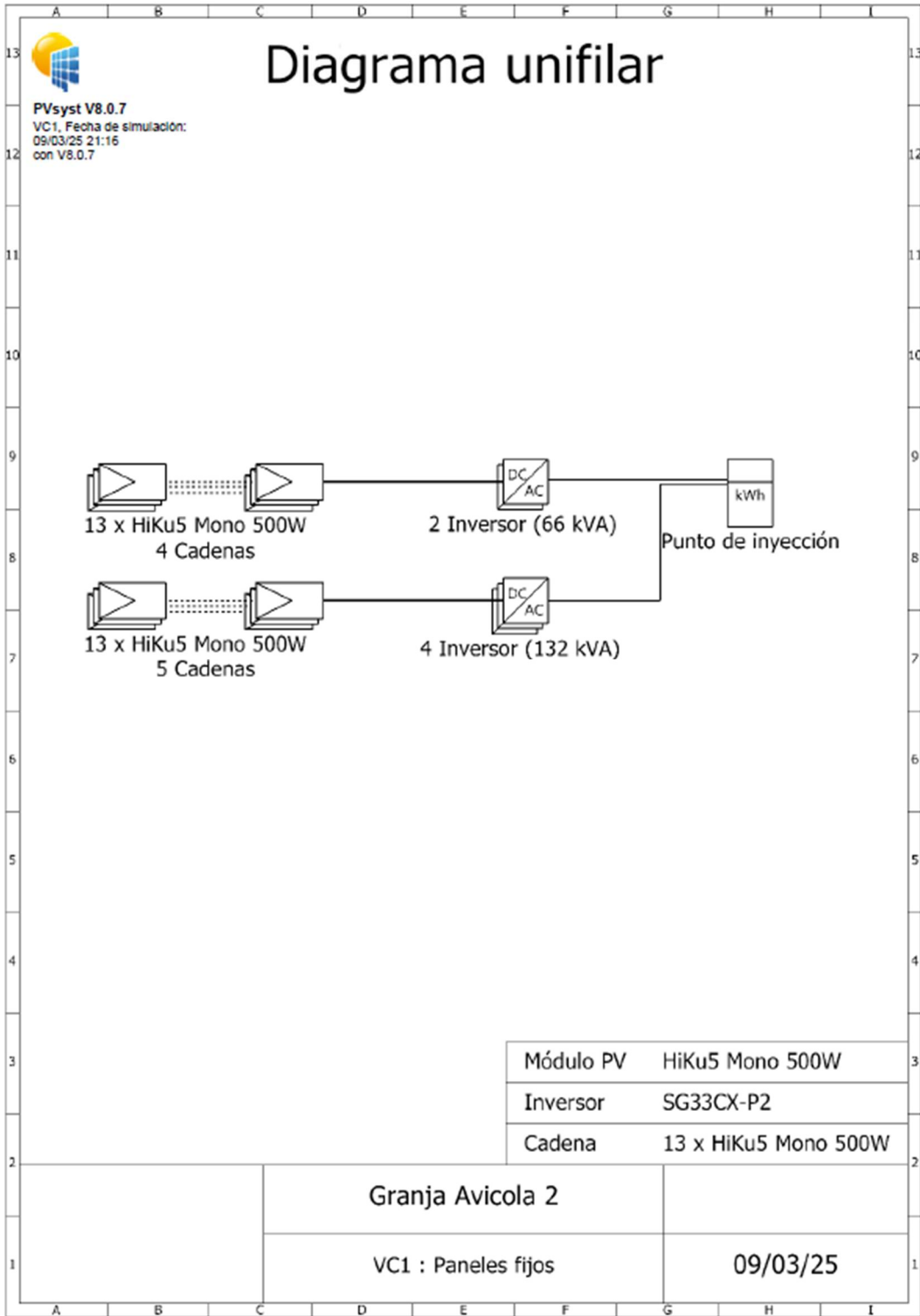
Variante: Paneles fijos

Gráficos predefinidos  
 Array Voltage Distribution



Array Temperature Distribution during running





## Anexo 8. DESARROLLO DE LOS CALCULOS FINANCIEROS.

### FLUJO DE CAJA

	Totales	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Costos nominales</b>																		
CAPEX	1.221.521.783	1.221.521.783																
O&M	2.905.720.332		61.076.089	62.908.372	64.795.623	66.739.492	68.741.676	70.803.927	72.928.045	75.115.886	77.369.362	79.690.443	82.081.157	84.543.591	87.079.899	89.692.296	92.383.065	
Agua	6.946.011		146.000	150.380	154.891	159.538	164.324	169.254	174.332	179.562	184.948	190.497	196.212	202.098	208.161	214.406	220.838	
<b>Total</b>	<b>4.134.188.126</b>	<b>1.221.521.783</b>	<b>61.222.089</b>	<b>63.058.752</b>	<b>64.950.514</b>	<b>66.899.030</b>	<b>68.906.001</b>	<b>70.973.181</b>	<b>73.102.376</b>	<b>75.295.447</b>	<b>77.554.311</b>	<b>79.880.940</b>	<b>82.277.368</b>	<b>84.745.689</b>	<b>87.288.060</b>	<b>89.906.702</b>	<b>92.603.903</b>	
Producción H2 (kg)	47.505		1.825	1.807	1.789	1.771	1.753	1.736	1.718	1.701	1.684	1.667	1.650	1.634	1.618	1.601	1.585	
Factor de Descuento			1,00	0,93	0,86	0,79	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,50	0,46	0,43	0,40	0,37	0,34	0,32
<b>Costos Descontados</b>																		
CAPEX	1.221.521.783	1.221.521.783	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O&M	926.872.565		56.551.934	53.933.789	51.436.855	49.055.519	46.784.430	44.618.484	42.552.814	40.582.776	38.703.944	36.912.094	35.203.201	33.573.423	32.019.098	30.536.733	29.122.995	
Agua	2.215.653		135.185	128.927	122.958	117.265	111.836	106.659	101.721	97.012	92.520	88.237	84.152	80.256	76.540	72.997	69.617	
<b>Total</b>	<b>2.150.610.001</b>	<b>1.221.521.783</b>	<b>56.687.120</b>	<b>54.062.716</b>	<b>51.559.812</b>	<b>49.172.784</b>	<b>46.896.266</b>	<b>44.725.143</b>	<b>42.654.534</b>	<b>40.679.787</b>	<b>38.796.464</b>	<b>37.000.331</b>	<b>35.287.353</b>	<b>33.653.679</b>	<b>32.095.639</b>	<b>30.609.729</b>	<b>29.192.612</b>	
Producción H2 (kg)	18.787		1.690	1.549	1.420	1.302	1.193	1.094	1.003	919	842	772	708	649	595	545	500	

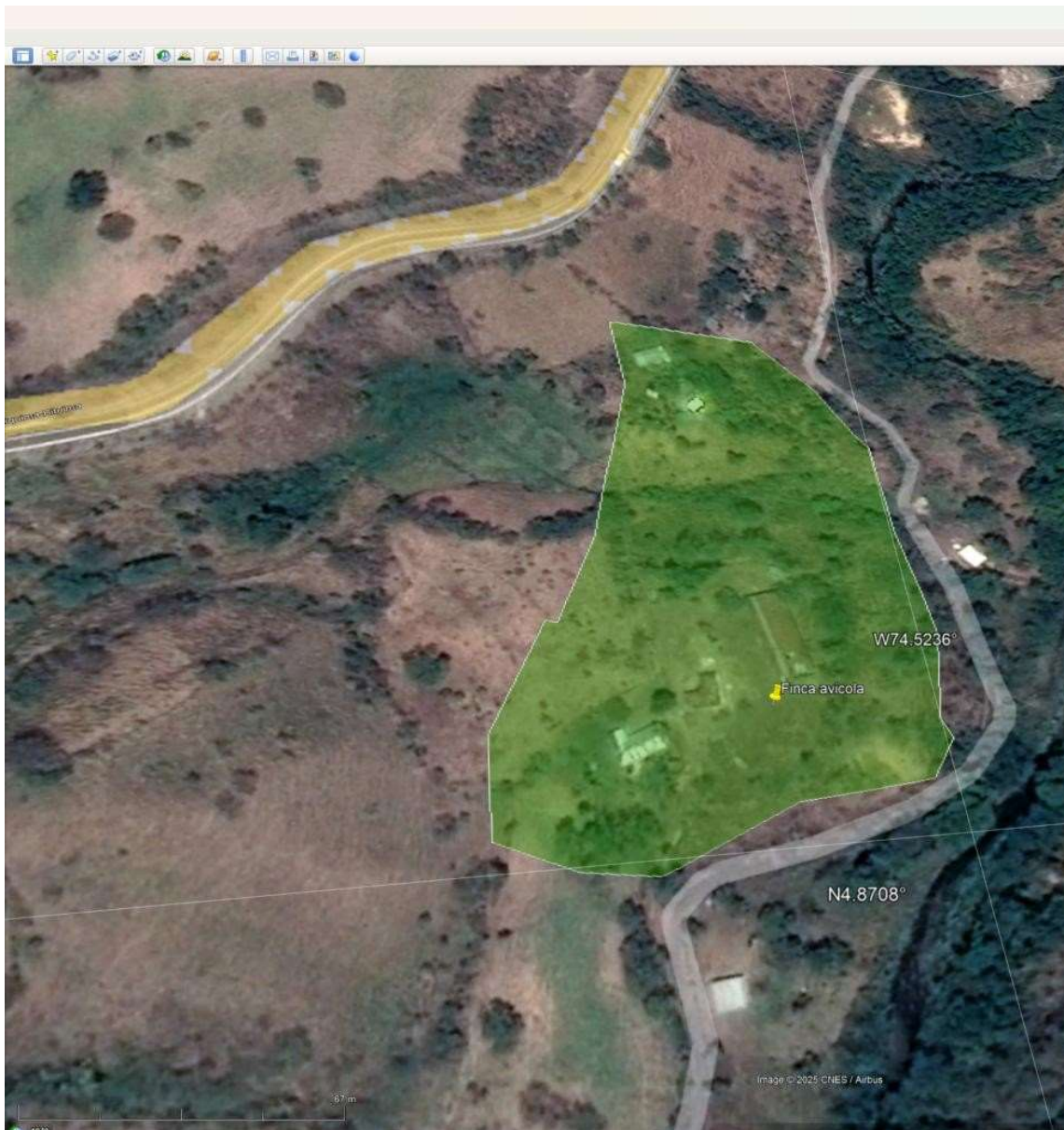
Fuente: Elaboración propia

### FLUJO DE CAJA

	Totales	Año	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Costos nominales</b>																	
CAPEX	1.221.521.783																
O&M	2.905.720.332		95.154.557	98.009.194	100.949.469	103.977.953	107.097.292	110.310.211	113.619.517	117.028.103	120.538.946	124.155.114	127.879.768	131.716.161	135.667.645	139.737.675	143.929.805
Agua	6.946.011		227.463	234.287	241.316	248.555	256.012	263.692	271.603	279.751	288.144	296.788	305.692	314.862	324.308	334.037	344.059
<b>Total</b>	<b>4.134.188.126</b>	<b>95.382.020</b>	<b>98.243.481</b>	<b>101.190.785</b>	<b>104.226.509</b>	<b>107.353.304</b>	<b>110.573.903</b>	<b>113.891.120</b>	<b>117.307.854</b>	<b>120.827.089</b>	<b>124.451.902</b>	<b>128.185.459</b>	<b>132.031.023</b>	<b>135.991.954</b>	<b>140.071.712</b>	<b>144.273.864</b>	
Producción H2 (kg)	47.505		1.570	1.554	1.538	1.523	1.508	1.493	1.478	1.463	1.448	1.434	1.420	1.405	1.391	1.377	1.364
Factor de Descuento			0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10
<b>Costos Descontados</b>																	
CAPEX	1.221.521.783		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O&M	926.872.565		27.774.708	26.488.842	25.262.507	24.092.946	22.977.532	21.913.757	20.899.232	19.931.675	19.008.912	18.128.870	17.289.570	16.489.127	15.725.742	14.997.698	14.303.360
Agua	2.215.653		66.394	63.321	60.389	57.593	54.927	52.384	49.959	47.646	45.440	43.336	41.330	39.417	37.592	35.851	34.192
<b>Total</b>	<b>2.150.610.001</b>	<b>27.841.102</b>	<b>26.552.163</b>	<b>25.322.896</b>	<b>24.150.539</b>	<b>23.032.459</b>	<b>21.966.141</b>	<b>20.949.190</b>	<b>19.979.320</b>	<b>19.054.352</b>	<b>18.172.206</b>	<b>17.330.900</b>	<b>16.528.544</b>	<b>15.763.333</b>	<b>15.033.549</b>	<b>14.337.552</b>	
Producción H2 (kg)	18.787		458	420	385	353	323	297	272	249	228	209	192	176	161	148	136

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 9. KMZ IDENTIFICACION DE LA GRANJA.**



**Fuente: Google Earth**

## Anexo 10. BASE DE DATOS SOLARGIS PROSPECT.

SOLARGIS PROSPECT
MAP PROJECTS

←

Bituima

☰ Overview

PROPERTIES

- 📄 Project info
- ⚙️ PV configuration

ANALYSIS

- ☀️ Solar and meteo
- ⚡️ PV electricity
- 📊 PV performance
- 💰 Finance

DOWNLOAD

- 📄 Reports
- 📁 Data

SUPPORT

- 🔍 Metadata

### Project info

PROJECT INFO	
Project name	Bituima
Address	unnamed road, Bituima, Colombia
Geographical coordinates	04.871706°,-074.541892°
Time zone	UTC-05, America/Bogota [COT]
Last change	2024-03-20
Elevation	1429m
Land cover	Shrubland
Population density	377h./km²
Terrain azimuth	89°
Terrain slope	25°
Edin name	

### PROJECT HORIZON AND SUNPATH

Solar azimuth [°] vs Solar elevation [°]. Legend: Terrain horizon, Active area, COT (UTC-05:00), June solstice, December solstice, Equinox, Solar time.

### MAP

Show on map

### DAY LENGTH AND SOLAR ZENITH ANGLE

Day length [hours] vs Minimum zenith angle [°]. Legend: Day length [hours], Day length, horizon corrected [hours], Minimum zenith angle [°].

SOLARGIS PROSPECT
MAP PROJECTS

←

Bituima

☰ Overview

PROPERTIES

- 📄 Project info
- ⚙️ PV configuration

ANALYSIS

- ☀️ Solar and meteo
- ⚡️ PV electricity
- 📊 PV performance
- 💰 Finance

DOWNLOAD

- 📄 Reports
- 📁 Data

SUPPORT

- 🔍 Metadata

### Overview

<b>Global horizontal irradiation</b> Yearly average <b>4.225</b> kWh/m <sup>2</sup> per day	<b>Direct normal irradiation</b> Yearly average <b>2.423</b> kWh/m <sup>2</sup> per day
<b>Diffuse horizontal irradiation</b> Yearly average <b>2.463</b> kWh/m <sup>2</sup> per day	<b>Air temperature</b> Yearly average <b>18.5</b> °C

### PROJECT INFO

Project name	Bituima
Address	unnamed road, Bituima, Colombia
Geographical coordinates	04.871706°,-074.541892°
Time zone	UTC-05, America/Bogota [COT]
Last change	2024-03-20
Elevation	1429m
Land cover	Shrubland
Population density	377h./km²
Terrain azimuth	89°
Terrain slope	25°

### PV SYSTEM CONFIGURATION

Change system type: PV configuration

### METEOROLOGICAL DATA

Air temperature	TEMP	18.5 °C
Cooling degree days	COD	406 degree days
Heating degree days	HDD	216 degree days

Project info Show on map Update project data

**Fuente: SolargisProspect**

## Anexo 11. COSTOS PROMEDIO DE LCOH.

Nombre Corto	Producto	Aplicación	LCOH 2022	LCOH 2030	LCOH 2040	LCOH 2050	media
Frontera	Hidrógeno	Convencionales	3.31	2.23	1.85	1.55	2.23
Gente Grande	Amoniaco	En estudio	3.36	2.26	1.88	1.57	2.27
Llaquedona	Amoniaco	Convencionales	3.42	2.30	1.92	1.61	2.31
H2 Magallanes (Total Eren)	Hidrógeno		3.44	2.31	1.92	1.61	2.32
HIF Haru Oni (Fase Piloto)	E-fuels	Transporte	3.51	2.36	1.97	1.65	2.37
HNH Energy	Amoniaco	N/A	3.51	2.36	1.97	1.65	2.37
H1 Magallanes	Amoniaco	Convencionales	3.59	2.42	2.02	1.69	2.43
Cabeza de Mar	Amoniaco	Convencionales	3.62	2.44	2.04	1.71	2.45
HIF Cabo Negro	E-fuels	Transporte Terrestre	3.62	2.44	2.04	1.71	2.45
Enap Cabo Negro	Hidrógeno		3.62	2.44	2.04	1.71	2.45
Hydra	Hidrógeno	Transporte	3.93	2.70	2.19	1.74	2.64
Distrito Minero Calama	Hidrógeno	Procesos industriales y Transporte	4.03	2.77	2.18	1.74	2.68
Faraday	Amoniaco	Convencionales	4.04	2.77	2.19	1.75	2.68
Cerro Dominador	Hidrógeno	Transporte	4.11	2.82	2.23	1.78	2.73
Pauna Greener Future-H2	Hidrógeno		4.14	2.84	2.24	1.79	2.75
Paracelsus-Atacama Hydrogen Hub	Hidrógeno	Convencionales	4.14	2.84	2.24	1.79	2.75
Hoasis	Amoniaco	Convencionales	4.16	2.85	2.25	1.80	2.76
Hyex-Hidrógeno - Fase Industrial	Hidrógeno	Servicios de trona-dura, Fertilizantes, exportación.	4.17	2.86	2.26	1.80	2.77
Cerro Pabellón	Hidrógeno	Almacenamiento	4.19	2.87	2.27	1.81	2.78
Génesis	Hidrógeno	Movilidad, Calor Industrial, Feedstock entre otros	4.20	2.88	2.27	1.81	2.79
Planta Móvil H2V	Hidrógeno	Investigación	4.21	2.89	2.28	1.82	2.80
Hyex-Síntesis Amoniaco - Fase Piloto	Amoniaco	Tronadura	4.22	2.90	2.29	1.83	2.81
Amer H2	E-fuels	Transporte	4.24	2.91	2.30	1.83	2.82
Proyecto Piloto H2V GNA	Hidrógeno	Transporte	4.26	2.92	2.31	1.84	2.83
Renewastable Kosten Aike	Hidrógeno	Estacionarias	4.27	2.97	2.50	2.02	2.94
Zorzal	Hidrógeno	N/A	4.31	3.01	2.53	2.04	2.97

Minera San Pedro	Hidrógeno	Estacionarias	5.22	3.46	2.82	2.25	3.44
Wellboat Patagón X	Hidrógeno	Trasnporte Naviero	5.03	3.53	2.87	2.38	3.45
Estación de Hidrógeno Aeropuerto	Hidrógeno		5.33	3.53	2.88	2.30	3.51
Green Steel Project	Hidrógeno	Siderúrgico	5.42	3.61	2.95	2.36	3.59
Hidrogenera Pudahuel	Hidrógeno	Transporte Terrestre	5.45	3.61	2.94	2.35	3.59
Wally-Grúas Horquilla	Hidrógeno	Transporte	5.49	3.64	2.96	2.37	3.61
HValleSur	Hidrógeno	Transporte Terrestre	5.51	3.66	3.00	2.41	3.65
Hydrogen Generation Unit-Ex Las Tórtolas	Hidrógeno		5.57	3.68	3.00	2.40	3.66
Espinos	Hidrógeno	N/A	5.62	3.71	3.03	2.42	3.70
UCSC	Hidrógeno	Transporte	5.66	3.74	3.05	2.44	3.72
USM - CORFO	Hidrógeno	Transporte	5.86	3.86	3.15	2.51	3.84
Estudio CAP		Convencionales	5.86	3.86	3.15	2.51	3.85
Piloto H2V U. de Concepción			5.87	3.87	3.16	2.52	3.86
Bahía Quintero	Hidrógeno	Camiones	5.93	3.91	3.19	2.55	3.90
Fertilizantes Araucanía	Fertilizantes		5.91	3.98	3.28	2.65	3.96
H2GN	Hidrógeno	Blending de H2V con GN	6.11	4.02	3.28	2.62	4.01
HyPro Aconcagua	Hidrógeno		6.15	4.04	3.30	2.63	4.03
<b>media</b>			<b>4.62</b>	<b>3.11</b>	<b>2.52</b>	<b>2.04</b>	

**Fuente: Facultad de ciencias físicas y matemáticas universidad de Chile. Con apoyo del Ministerio de Energía y Del Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile, Principales características del motor de cálculo de Costo Nivelado de Producción de Hidrógeno**