

## DISEÑO DE CENTRAL ELÉCTRICA HÍBRIDA EÓLICA – HIDRÓGENO, PARA INDUSTRIA SIDERÚRGICA DE GRAN PORTE, PARTE 2

Juan F. Mathisson<sup>1</sup>, Fernando Tilca<sup>2</sup>, Marcelo A. Balbi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INENCO - UNSa. Bolivia 5150. CP 4400 Salta. jfmathi@gmail.com

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas, INENCO - UNSa. Bolivia 5150. CP 4400 Salta.

*Recibido 08/2024; Aceptado 11/2024*

**RESUMEN.-** En este trabajo se continúa con el diseño de una central eléctrica para cubrir la demanda de una industria siderúrgica de gran porte, de 565 GWh/año. La fuente principal de energía es un parque eólico de 185 MW y un equipo de hidrógeno, que se utilizará para cubrir la intermitencia de la energía eólica y parte de la demanda. El equipo de hidrógeno consiste principalmente en electrolizadores, depósito de hidrógeno y celdas de combustible, además de instalaciones complementarias de bombeo y otras. Se propone que la demanda energética sea satisfecha en un 80% por la generación del parque eólico, mientras que el 20% restante por las celdas de combustible; la razón es que las celdas estén trabajando para una respuesta rápida cuando disminuya la generación eólica. El sitio está ubicado en Puerto Deseado, Santa Cruz, Argentina; cuenta con vientos en la mayor parte del año y está cerca del puerto. El agua a utilizar para producción de hidrógeno es del Océano Atlántico. Se concluye que son necesarias 9 unidades de 4 electrolizadores para producir 9000 Nm<sup>3</sup>/h, depósito de hidrógeno de 104 tubos de 10 m por 0,91 m y 3 celdas de combustible de 10 MW cada una.

**Palabras clave:** energía eólica, hidrógeno, acero verde.

## PRELIMINARY DESIGN OF A HYBRID WIND-HYDROGEN POWER PLANT FOR LARGE STEEL INDUSTRY, PART 2

**ABSTRACT.-** The design of a power plant for the energy demand of a large-scale steel industry continues. The primary energy source is a 185 MW wind farm, supplemented by a hydrogen system. The hydrogen system is used to meet the steel plant's demand partially and to mitigate the intermittency of energy generated by the wind farm. The total annual electrical energy demand is 565 GWh. The large-scale hydrogen system mainly consists of electrolyzers, hydrogen storage tanks, and fuel cells, in addition to complementary pumping and other auxiliary facilities. This design proposes that 80% of the energy demand be met by the wind farm's generation when sufficient, while the remaining 20% will be supplied by electricity from the fuel cells. The rationale is to keep the hydrogen system operational for rapid response when wind generation decreases. The site is located near Puerto Deseado, Santa Cruz Province, in the Argentine Patagonia; this region experiences winds throughout most of the year and is close to the port of the same name. The water used for hydrogen production will be sourced from the Atlantic Ocean. The electrical energy for hydrogen generation by the electrolyzers will be supplied by the wind farm. It is concluded that 9 units, each comprising 4 electrolyzers with a total production capacity of 9000 Nm<sup>3</sup>/h, 104 hydrogen storage tubes (10 m long and 0.91 m in diameter), and 3 PEM fuel cells of 10 MW each, are necessary.

**Keywords:** wind energy, hydrogen, green steel.

### 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo es la continuación de otro ya publicado (Tilca et al., 2023). Se trata de la provisión de energía para satisfacer el requerimiento eléctrico del funcionamiento de una industria siderúrgica de gran porte, cuya demanda es de 1,55 GWh/día por todo concepto.

Se prevé que el parque eólico genere la energía para:

- Proveer de energía eléctrica a la planta siderúrgica y al poblado de trabajadores de esta planta, cuyo consumo de ahora en más se llamará el consumo de la Planta.

- Proveer de energía eléctrica a los electrolizadores que deben generar hidrógeno que será utilizado, por las celdas de combustible que van a generar, como base, el 20% de la energía eléctrica de la Planta, para cubrir las intermitencias propias de la energía proveniente del parque eólico y hasta un 60% por un día para cuando no haya generación eólica por ausencia de viento.

### 2. ESQUEMA GENERAL

El esquema general se muestra en la Figura 1. El equipamiento de hidrógeno, la planta siderúrgica con su poblado y equipos auxi-

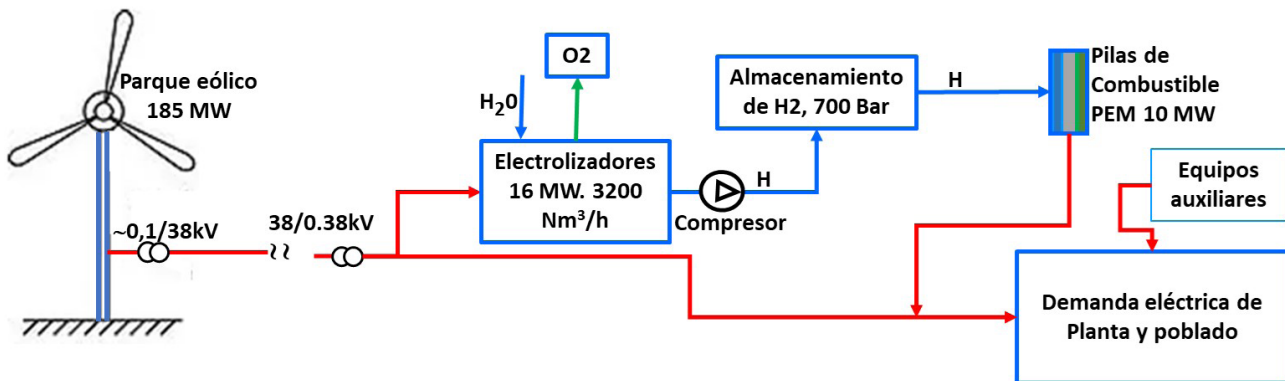


Fig. 1: esquema general del parque eólico, planta siderúrgica y equipamiento de hidrógeno.

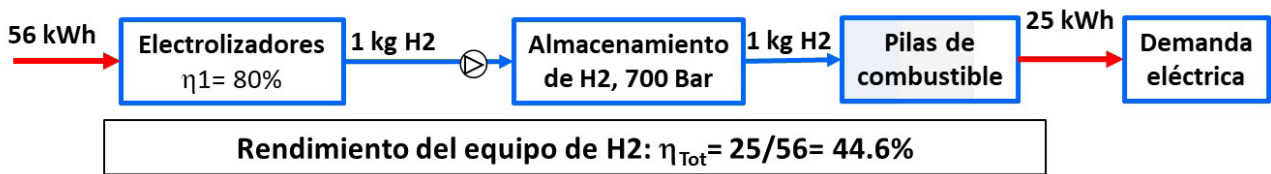


Fig. 2: esquema que muestra el rendimiento del equipo de hidrógeno.

liars se encuentran a unos 200 m del mar, mientras que el parque eólico a unos 10 km.

El rendimiento del equipo de hidrógeno es de 44.6%; en la Figura 2 se muestra esquemáticamente para mejor comprensión, con datos obtenidos de los fabricantes (Ammonia Energy Association, 2019; Davis, 2019).

### 3. CÁLCULOS DEL REQUERIMIENTO ENERGÉTICO

Para realizar los cálculos de la energía necesaria, se parte de la demanda de energía eléctrica de la Planta, que es de 1,55 GWh/día, de la cual, el 20 % será provista de forma permanente por el sistema de hidrógeno (por la celda de combustible). En (Tilca et al., 2023) se define la demanda de energía eléctrica considerada, como la fracción de energía ofertada por la celda de manera continua, base de partida del cálculo de este trabajo; valores, que son el resultado de la optimización de la configuración y tamaño del parque eólico, del tamaño de almacenamiento de gas hidrógeno y de la estrategia operativa de tener en operación continua las celdas de combustible.

Luego se estima el requerimiento de hidrógeno para cubrir el porcentaje de energía que necesita la siderúrgica, para que siga su producción (aunque ésta disminuya). Esto podría ocurrir cuando, como se previó en el trabajo anterior, haya un día completo sin viento en 20 años. Este porcentaje se estima en un 40%, ya que no hay riesgo de parar la planta porque no hay material líquido que pueda causar daños irreparables o muy costosos.

Hay una cantidad de energía que la siderúrgica debe recibir en forma imprescindible, de manera que no sufra daños graves por corte de energía; esta cantidad de energía se debe proveer durante poco tiempo, el que necesite para que pueda detenerse la producción en forma controlada. Para esto, se prevé un equipo electrógeno que funcione con combustible líquido o con gas natural. Esto puede ocurrir cuando por algún evento imprevisto, tanto el parque eólico como el equipo de hidrógeno no puedan inyectar energía a la Planta.

#### 3.1. Cálculo del 20% de base que proveerá el equipo de hidrógeno

##### 3.1.1 Cantidad de hidrógeno necesario por día

La energía eléctrica que deben generar las celdas de combustible, como se dijo, el 20% del total (1,55 GWh/día), es 310 MWh/día. Como se indica en la Figura 2, con 1 kg de H<sub>2</sub> a la entrada de las celdas se generan 0,025 MWh, por lo que se necesitarán 12400 kgH<sub>2</sub>/día.

##### 3.1.2 Cantidad de energía eléctrica diaria para generar esa cantidad de H<sub>2</sub>

Puesto que, a la entrada de los electrolizadores, se consumen 56 kWh para generar cada kg de H<sub>2</sub>, se tiene que para que produzcan 12400 kgH<sub>2</sub>, necesitarán 694,4 MWh/día.

#### 3.2. Cálculo del 40% de energía total que proveerá el equipo de hidrógeno en 1 día sin viento

La energía eléctrica a generar por las celdas de combustible es, entonces, 620 MWh/día (es el 40% del total de 1,55 GWh/día). Con razonamientos similares a los de los párrafos anteriores, se obtiene que, para generar esta energía, las celdas necesitarán 24800 kgH<sub>2</sub>/día. Entonces, esta cantidad de H<sub>2</sub> debe estar disponible para las celdas, para proveer de energía a la Planta en un día completo sin viento, evento que, se calculó en un trabajo anterior, se puede dar una vez cada 20 años. Es necesario calcular el volumen que ocupará esta cantidad de H<sub>2</sub>, para el depósito.

### 4. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL DEPÓSITO DE H<sub>2</sub>

Se ha previsto que el H<sub>2</sub> se almacenará a 700 Bar, y puesto que, a esta presión 1 m<sup>3</sup> contiene 37 kg de H<sub>2</sub>, se obtiene que el volumen del depósito debe ser de 670,3 m<sup>3</sup>.

Como se dijo en el artículo anterior, el almacenamiento se realizará en tubos de 10 m de largo por 0,91 m de diámetro (volumen de 6,5 m<sup>3</sup>/tubo). Por lo tanto, se van a necesitar 103,2 ≈ 104 tubos.

## 5. ELECTROLIZADORES

Como se indicó, la masa de hidrógeno necesaria para abastecer la demanda (40% del total) es de 24800 kgH<sub>2</sub>/día, es decir 1033,3 kgH<sub>2</sub>/h. Sin embargo, el sistema integrado, de manera esquemática por el parque eólico, el electrolizador, la acumulación y la celda de combustible, no produce hidrógeno a la tasa de 1033,3 kgH<sub>2</sub>/h, sino que se optimiza su acumulación considerando diversos tamaños de parques eólicos y periodos de calma de viento. En la configuración elegida, que optimiza el tamaño del parque y el tamaño de la acumulación de hidrógeno comprimido, es máxima la producción del electrolizador cuando el mismo consume 682MWh/d, es decir, 28.4 MWh/h. En este caso, la producción de hidrógeno es de 507 kgH<sub>2</sub>/h, que equivalen a 6049 Nm<sup>3</sup>/h de gas hidrógeno.

Teniendo en cuenta solo la estequiometría de la reacción de electrólisis del agua (donde 1 mol de agua producen 2 moles de hidrógeno y 1 mol de oxígeno) y los pesos atómicos de ambos elementos, se tiene que 507 kg de H<sub>2</sub>, equivalen a 4563 kg de agua. En este caso, se considera utilizar agua de mar, la cual, en la zona del Mar Argentino, frente a las costas de Puerto deseado, tiene una salinidad entre 32 g/L y 34 g/L, se toma el valor máximo como referencia (Baldoni et al., 2015). Se necesitan al menos 4.56 m<sup>3</sup>/h de agua para alimentar el electrolizador, agua que debe ser desalinizada.

Para lo anterior, se consideran dos tecnologías propuestas por Alfa Laval, que consisten en combinación de tres procesos: MEP (Mechanical Vapor Recompression, MVR), 2PassRO (Ósmosis inversa de Doble Paso) y EDI (Electrodeionización), (Alfa Laval, 2024).

## 6. MEP (MECHANICAL VAPOR RECOMPRESSION, MVR)

La tecnología MEP (Mujumdar, 2014) utiliza la re-compresión mecánica del vapor para desalinizar el agua. Es una tecnología eficiente en términos de energía, ya que recicla el calor del vapor para el proceso de desalación. Se utiliza en instalaciones que requieren un alto grado de eficiencia energética y un bajo costo operativo.

### 6.1. Pasos del proceso MEP

- **Evaporación del Agua:** El agua salina (agua de mar o salmuera) se calienta hasta su punto de ebullición en un evaporador. El calor necesario para este proceso, en este caso, es energía eléctrica o calor residual de procesos industriales.
- **Generación de Vapor:** El agua salina se evapora generando vapor de agua; la parte líquida queda como una solución más concentrada de NaCl y demás sales disueltas en el agua de mar. Este vapor de agua contiene calor latente, el cual es transferido al condensar en etapas posteriores.
- **Recompresión del Vapor:** El vapor generado se comprime mecánicamente utilizando un compresor de vapor. Al hacerlo, temperatura y presión aumentan, elevando su contenido energético.
- **Condensación y Transferencia de Calor:** El vapor comprimido se condensa en un intercambiador de calor, transfiriendo su calor latente al agua salina de entrada, lo que permite que el agua se caliente y evapore, repitiendo el ciclo.
- **Producción de Agua Desalinizada:** El avapor condensado se recoge como agua desalinizada o agua dulce. La salmuera concentrada se elimina del sistema, constituyendo un efluente.

La tecnología 2PassRO (Ósmosis inversa de Doble Paso), consiste en un proceso de desalinización en dos etapas que asegura la eliminación de prácticamente todas las impurezas del agua (Ku-

cera, 2010). Es un proceso utilizado ampliamente en la industria con requerimientos de calidad de agua desalinizada (refinerías, centrales térmicas, entre otras). Si bien el proceso MEP y 2 Pass RO producen agua desalinizada, pudiendo lograr valores de salinidad muy bajos, no es suficiente para garantizar la calidad requerida para el electrolizador. Por esta razón, en ambos casos, como proceso final se adiciona la electro-desionización (EDI).

EDI (Electro-desionización) combina tecnologías de intercambio iónico y membranas para purificar el agua. Es un proceso que no requiere productos químicos regenerativos y es continuo; se utiliza principalmente para producir agua ultrapura, necesaria en aplicaciones industriales, incluida la alimentación de electrolizadores para la producción de hidrógeno (Strathmann et al., 2013).

Se tienen por tanto dos combinaciones propuesta en (Alfa Laval, 2024): MEP+EDI y 2PassRO+EDI

- **MEP + EDI:** Configuración es eficiente en términos energéticos y produce agua ultrapura sin la necesidad de productos químicos regenerativos.
- **2PassRO + EDI:** Configuración que proporciona una purificación del agua muy alta, eliminando prácticamente todas las impurezas y asegurando que el agua cumpla con los estándares de los electrolizadores.

### 6.2. Tamaño de electrolizadores

En lo referente a los electrolizadores, se puede considerar la propuesta de la empresa H-RAY que consiste en un sistema combinado de 4 electrolizadores de 250 Nm<sup>3</sup>/h, totalizando 1000 Nm<sup>3</sup>/h la unidad (Hu & Shanghai H-RAY S & T Co. Ltd, 2024; Michaux et al., 2024; Shanghai H-RAY S & T Co. Ltd, n.d.). Dado que se necesita 6049 Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/h, se considera adecuado contar con 9 unidades, una de las cuales rotaría en la planificación operativa, permitiendo el mantenimiento preventivo de las demás, además de considerar un factor de capacidad de uso en operativa normal del 80% de la capacidad total para 8 operativas y un 70% cuando las 9 están operativas. La demanda de energía eléctrica es de aproximadamente entre 4.6 a 4.7 kWh/ Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>, lo que significa entre 667 MWh/día y 682 MWh/día.

### 6.3. Demanda de agua

El tamaño que ofrece Alfa Laval, para un electrolizador de 100 MW es de 26 m<sup>3</sup>/h de entrada de agua para el proceso MEP o 27 m<sup>3</sup>/h de entrada para la ósmosis inversa (Alfa Laval, 2024). Para esas entradas de agua, en este caso de mar, al proceso siguiente que es el EDI, donde al mismo ingresan en ambas configuraciones 24 m<sup>3</sup>/h desalinizada. Dado que el ingreso de agua de mar es diferente en las dos configuraciones, se tiene que para MEP+EDI, la eficiencia es del 92% y del 89% para 2passRO + EDI, Por lo tanto, teniendo en cuenta que la necesidad es de 4.56 kgAgua/h, es decir, 109.4 kgAgua/día, lo ofrecido está sobredimensionado. En este caso, se considera un factor de seguridad del 25%, es decir, que el desalinizador trabaje en condiciones normales de operación, en una capacidad del 80% de la máxima, por lo tanto, el tamaño sugerido es de 5.7 m<sup>3</sup>/h, un 24% de la capacidad de producción ofrecida en ambas tecnologías.

En la tecnología MEP, el consumo eléctrico es de 3.1 kWh/m<sup>3</sup> de agua tratada en la alimentación; para la tecnología 2PassRO, el valor es de 4.2 kWh/m<sup>3</sup>. En ambos casos, la demanda eléctrica del proceso EDI es de 0.3 kWh/ m<sup>3</sup> de agua alimentada. Por tanto, para la demanda de 109.4 m<sup>3</sup>Agua/día, el consumo de energía eléctrica es de 400 kWh/día para MEP+EDI y de 549 kWh/día 2PassRO+EDI.

En ambos casos se genera efluente, consiste en la solución concentrada salina, que principalmente contiene sodio y cloruro. Para el proceso MEP+EDI, se generan 0.08 m<sup>3</sup> efluente/ m<sup>3</sup>agua<sub>desalinizada</sub>. Para el proceso 2PassOR+EDI, se generan 0.13 m<sup>3</sup> efluente/m<sup>3</sup>agua<sub>desalinizada</sub>.

Los valores recomendados de conductividad pueden ser referenciados en la norma ASTM D 1193-99 (ASTM International, 1999), donde se especifican los tipos de agua. El equipo de ALFALAVAL puede producir agua para los requerimientos de dos tipos de electrolizadores, los AWE (Electrolizadores Alcalinos de Agua) donde el KOH es el electrolito y los PEM (de membrana de intercambio protónico), donde la membrana polimérica es la conductora de protones. En el primer caso, la conductividad requerida es de un máximo de 10 µS/cm (agua tipo IV según ASTM D 1193-99), para el segundo se requiere como máximo 1 µS/cm (Tipo I o Tipo II según ASTM D 1193-99). Se debe tener en cuenta que los valores de conductividad en el Mar Argentino tienen valores en el entorno de 55000 µS/cm. En el estuario del Río Deseado, pueden variar desde 5000 µS/cm a 30000 µS/cm, debido a factores como el caudal estacional, corrientes marinas, vientos, entre otros. El Río Deseado, antes del estuario, presenta valores de hasta 2000 µS/cm. En comparación con el Río Paraná, que presenta variaciones entre 60 µS/cm y 192 µS/cm en su curso por la ciudad de Corrientes (Ruiz et al., 2010), el Río Deseado presenta hasta 10 veces más los valores del Paraná. Lo anterior se puede deber a que el Río Deseado presenta un caudal 3000 veces menor, puede tener mayor evaporación y se debe considerar la geología del curso, los minerales que están expuestos al caudal del río y que pueden disolver sales, entre otras consideraciones.

Considerar agua de mar para la electrólisis, surge del análisis de oportunidades de las fuentes disponibles en la zona del proyecto, que es en las cercanías de la ciudad de Puerto Deseado, la cual se ubica en la desembocadura del Río Deseado.

El Río Deseado presenta un caudal estacional y bajo, de aproximadamente 5 m<sup>3</sup>/s, equivalentes a 18000 m<sup>3</sup>/h. Desde su desembocadura hasta aproximadamente 25 km aguas arriba, se forma un estuario, que, dado el bajo caudal del río, tiene una salinidad elevada, que varía entre 20 g/l a 30 g/l (Baldoni et al., 2015). Si bien la demanda de agua del desalinizador representa solo el 0.025% del caudal promedio del río, la alta salinidad del estuario, sumado a que, para su uso se requieren permisos ambientales especiales, se sugiere utilizar directamente el agua de mar. Se puede considerar, realizar la toma de agua del curso del río, donde la salinidad no es afectada por el mar, aproximadamente 40 km de distancia de la ruta 281, al sur del parque eólico. Para el caso de utilizar agua dulce, el consumo eléctrico es de

329 kWh/día para MEP+EDI y de 475 kWh/día 2PassRO+EDI, es decir, un 82% y 86% del consumo utilizando agua de mar respectivamente. Si bien existe un ahorro de energía eléctrica por metro cúbico tratado, se debe sumar al menos 6 veces la distancia de bombeo y el requerimiento de tratamientos primarios para floculación y decantación de los sólidos suspendidos (por ejemplo, coloides, partículas finas en suspensión, entre otros). En el trabajo de investigación técnico de (Esteves et al., 1997), se presentan valores de 0.414 mg/l de Sólidos Suspendidos Totales (SST) como valor máximo en condiciones de marea bajante en el estuario. La condición de marea bajante es aquella en la cual el flujo de agua es desde el continente hacia el mar, es decir, en sentido del curso del río y por tanto, se tienen valores más cercanos a los presentados por el curso antes del estuario. En el mismo informe técnico se informan de valores de 0.042 mg/l de SST en condiciones de marea creciente, es decir, con un flujo de agua entrante desde el mar hacia el continente, contraria al sentido del curso del río; en este caso, estos valores son más representativos del agua de mar. Si bien se puede considerar un promedio o solo bombear en condiciones de marea creciente, necesariamente, es conveniente diseñar un tratamiento primario para la condición de mayor SST, aumentado el costo de inversión, de operación y complejidad del sistema.

Por lo tanto, la opción de utilizar agua de mar como fuente de alimentación para el electrolizador es lo viable para las condiciones geográficas de la zona del proyecto.

## 7. CELDAS DE COMBUSTIBLE

Las celdas a utilizar son tipo PEM, 10 MW cada una; como el requerimiento de un día sin viento es de 620 MWh/día, se necesitarán 3 celdas. La generación de base será de 310 MWh/día (potencia generada por las celdas de 13 MW) cuando la mayor cantidad de energía sea provista directamente por el parque eólico; mientras que, en la generación pico, la potencia de las celdas será de 25,9 MW.

Las pilas de combustible PEM son modulares, pudiendo aumentar la potencia generada simplemente aumentando el número de unidades. Poseen una respuesta inmediata al aumento en el requerimiento de mayor potencia.

## 8. RESUMEN DE DEMANDA DE ENERGÍA, PAE Y CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE H<sub>2</sub>

En la Tabla 1 se muestra un resumen de la demanda de energía, de la producción de energía del parque eólico y características principales del equipo de hidrógeno.

Tabla 1: Resumen de las principales características del proyecto.

Demanda de energía de la siderúrgica y el pueblo	564.7GWh/año → promedio 1,55 GWh/día =1547,1 MWh/día= 64.46 MWh/h
PAE del parque eólico de 185 MW, aerogeneradores clase S	Bruta: 1203 GWh/año; PAE P50: 1102 GWh/año (Fc:68.2%); PAE P84: 1051 GWh/año (Fc:65.0%)
<b>Equipo de H<sub>2</sub></b>	
Demanda de H <sub>2</sub> : 6049 Nm <sup>3</sup> /h. Demanda de energía eléctrica a este equipo: 620 MWh/día	
9 unidades de 4 electrolizadores cada una	Producción de 1000 Nm <sup>3</sup> /h por unidad → total de 9000 Nm <sup>3</sup> /h
3 celdas de combustible, tipo PEM, 10 MW c/u.	Generación pico: 720 MWh/día Generación base: 310 MWh/día
Depósito de H <sub>2</sub> . Presión de almacenamiento: 700 bar. Volumen necesario: 670,3 m <sup>3</sup> .	Tubos de 10 m de largo por 0,91 m de diámetro (volumen de 6,5 m <sup>3</sup> /tubo) → 104 tubos
Compresores, grupo electrógeno para imprevistos, bombas de agua, a determinar.	

## 9. TAREAS A FUTURO

La utilización del oxígeno generado por la electrólisis, aún no se indica en esta parte 2. El hidrógeno generado será utilizado sólo como combustible para las celdas; la generación de hidrógeno para ser utilizado como agente reductor de la industria de fabricación de acero, de manera que el metal fabricado sea considerado correctamente como acero verde (lo que implica que todo el requerimiento de hidrógeno de esta industria sea generado teniendo como fuente de energía eléctrica al parque eólico), es una tarea a desarrollar en una tesis doctoral por uno de los autores.

Queda pendiente también, por una parte, la elección del equipo electrónico que manejará esta red eléctrica interna, que debe indicar tanto al parque eólico como a las celdas, la potencia a generar según el requerimiento de la demanda, y la cantidad de viento de cada momento; por otra parte, los equipos complementarios como ser los compresores, las bombas de agua y el grupo electrógeno.

## 10. CONCLUSIONES

Se avanzó con el diseño del proyecto de producción y consumo de energía de un sistema aislado de gran porte, determinando con mayor precisión parte de sus componentes, como por ejemplo los electrolizadores, la fuente de agua a utilizar que será agua de mar del océano atlántico, la cantidad de energía eléctrica a proveer por el equipo de H<sub>2</sub>, para el caso de un día completo sin viento, que permitió determinar con mejor precisión el tamaño del depósito de hidrógeno y de las celdas de combustible.

Durante el desarrollo de este trabajo, se ha podido advertir que el gran tamaño del proyecto origina múltiples complejidades a la hora de conseguir características de determinados componentes del equipo de hidrógeno, lo que plantea esta cuestión a resolver.

## REFERENCIAS

- Alfa Laval. (2024). Green hydrogen production (pp. 1–25). Alfa Laval. [www.alfalaval.com/clean-hydrogen](http://www.alfalaval.com/clean-hydrogen)
- Ammonia Energy Association. (2019). Green ammonia and hydrogen at scale. <https://www.ammoniaenergy.org/wp-content/uploads/2021/06/1.3-Siemens-ammonia-and-hydrogen-Martin-Hablutzel-publish.pdf>
- ASTM International. (1999). ASTM D 1193-99, Standard specification for reagent water (Estándar N° D 1193). <https://www.astm.org/Standards/D1193.htm>
- Baldoni, A., Molinari, G. N., Reta, R., & Guerrero, R. A. (2015). ATLAS de TEMPERATURA SALINIDAD y de la plataforma continental del Atlántico Sudoccidental: períodos cálido y frío (Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (ed.)). [http://files/1003/Baldoni et al. - 2015 - Atlas de temperatura y salinidad de la plataforma .pdf](http://files/1003/Baldoni%20et%20al.%20-%202015%20-%20Atlas%20de%20temperatura%20y%20salinidad%20de%20la%20plataforma.pdf)
- Davis, L. (2019). White paper I Power-to-X (p. 30). Siemens. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:-699382fc-20c5-4375-8129-689d83900a29/powertoxwhite-paperv07ces-.pdf>
- Esteves, J. L., Gil, M. N., Commendatore, M., Santinelli, N., Sastre, V., Solís, M., Ocariz, H., & Raies, G. (1997). Evaluación De La Contaminación Urbana De La Ría De Descado ( Provincia De Santa Cruz ). Fundación Patagónica Natural.
- Hu, D., & Shanghai H-RAY S & T Co. Ltd. (2024). High efficiency PEM Stacks and Systems.
- Kucera, J. (2010). Reverse Osmosis. Design, Processes, and Applications for Engineers (John Wiley & Sons (ed.)). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470882634>
- Michaux, C., Grobet, L., & Shanghai H-RAY S & T Co. Ltd. (2024). Ryzer-1000 PEM water electrolysis system.
- Mujumdar, A. S. (2014). Handbook of Industrial Drying (A. S. Mujumdar (ed.)). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17208>
- Ruiz, J., Fechner, D., Mores, A., & Vazquez, F. (2010). DBO5 y otros parámetros físico-químicos como indicadores de contaminación . Rio Parana , Costa Corrientes capital, Argentina. Facena, 26(1), 3–14.
- Shanghai H-RAY S & T Co. Ltd. (n.d.). H-RAY Brochure-2024\_V2.pdf.
- Strathmann, H., Grabowski, A., & Eigenberger, G. (2013). Ion-exchange membranes in the chemical process industry. Industrial and Engineering Chemistry Research, 52(31), 10364–10379. <https://doi.org/10.1021/ie4002102>
- Tilca, F., Mathisson, J., Balbi, M., & Bárcena, H. (2023). Diseño preliminar para producción de energía para industria en zona aislada, utilizando energía eólica e hidrógeno. Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente - AVERMA, 27, 262–275.