



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTADA DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**USO POTENCIAL DE LA TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO PARA
APROVECHAMIENTO DE ELECTRICIDAD PROVENIENTE DE LIMITACIONES DE
LAS CENTRALES DE GENERACIÓN RENOVABLES VARIABLES DE HONDURAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

11711281 RODRIGO ANTONIO DEL CID QUÍLICO

ASESOR METODOLÓGICO: ING. RAFAEL AGUILAR

ASESOR TEMÁTICO: ING. JORGE NÚÑEZ

CAMPUS TEGUCIGALPA; ABRIL, 2021.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Agradezco mucho el esfuerzo de mis papás y el apoyo de mi familia y mis amigos.

Agradecido con todas las personas que formaron parte de mi vida universitaria y me acompañaron cuando necesité su ayuda. Les doy las gracias a mis docentes, que pusieron su mayor esfuerzo por darnos la mejor educación que pueden ofrecer. De manera especial a mis compañeros de clase, por el compañerismo que tuvimos y por siempre querer el mejor futuro para todos.

Un especial aprecio por mi familia y su apoyo, a mis papás y a mis hermanos por siempre apoyarme con mis proyectos personales. A mis amigos por acompañarme en esta aventura y por todas las noches de desvelo, sea por fiesta o por estudio.

Este proyecto está dedicado a las personas interesadas en el tema del almacenamiento energético, el hidrógeno y la energía. A quien crea en la aplicabilidad de la tecnología en cualquier parte del mundo y tenga un compromiso con la sostenibilidad.

RESUMEN EJECUTIVO

El informe presenta los resultados obtenidos del análisis tecno-económico del almacenamiento energético por medio del hidrógeno para las plantas de energía eólica y fotovoltaica, Cerro de Hula y COHESSA. La transición a la energía renovable es fundamental para la sostenibilidad del medio ambiente, sin embargo, solo se puede aprovechar la energía renovable cuando hay recurso disponible. Esto presenta el problema de que se puede requerir más energía de la que se puede suministrar en unos momentos, mientras que hay más potencial que demanda en otros. Estos huecos de energía renovable se deben de llenar con otros recursos energéticos, muchas veces combustibles fósiles.

En este informe se presenta, por ende, un análisis sobre la cantidad de energía renovable limitada a lo largo del año 2019 para las plantas seleccionadas, y un estudio económico para un sistema de almacenamiento energético por medio de energía de hidrógeno. De ser implementada esta solución, se puede tener un mayor control sobre la curva de entrega energética de las plantas de energía renovable, pudiendo almacenar la energía que se produce cuando no se necesita y entregarla cuando es necesario.

El proyecto se realizó con la intención de estudiar la viabilidad de la tecnología en Honduras, y su aplicabilidad en todo el mundo. Con la tendencia que hay hacia las energías renovables, es necesario buscar una manera de hacer la transición lo más limpia posible. Con la añadidura de energías renovables a la matriz energética de una región, se introducen también inestabilidades a la red, por lo que es necesario buscar la manera de reducir el impacto de la predictibilidad de los recursos. El hidrógeno es un candidato para esto.

ABSTRACT

The report presents the results obtained from the techno-economic analysis of energy storage using hydrogen for the wind and photovoltaic power plants, Cerro de Hula and COHESSA. The transition to renewable energy is essential for environmental sustainability, however, renewable energy can only be harnessed when a resource is available. This presents the problem that more energy may be required than can be supplied at times, while there is more potential than demand at others. These renewable energy gaps must be filled with other energy resources, often fossil fuels.

This report therefore presents an analysis of the limited amount of renewable energy throughout 2019 for the selected plants, and an economic study for an energy storage system using hydrogen energy. If this solution is implemented, you can have greater control over the energy delivery curve of renewable energy plants, being able to store the energy that is produced when it is not needed and deliver it when it is necessary.

The project was carried out with the intention of studying the viability of the technology in Honduras, and its applicability throughout the world. With the trend towards renewable energy, it is necessary to find a way to make the transition as clean as possible. With the addition of renewable energies to the energy matrix of a region, instabilities are also introduced to the grid, so it is necessary to find a way to reduce the impact of the predictability of resources. hydrogen is a candidate for this.

Índice de Contenido

I.	Introducción	1
II.	Planteamiento del Problema.....	3
2.1.	Precedentes del Problema	3
2.2.	Definición del Problema	4
2.3.	Justificación	4
2.4.	Preguntas de Investigación	5
2.5.	Objetivos.....	5
III.	Marco Teórico.....	7
3.1.	Generalidades de la Producción y Demanda de la Energía Eléctrica	7
3.1.1.	Curva de Demanda	7
3.1.2.	Curva de Demanda Hondureña.....	8
3.1.3.	Producción Energética	9
3.2.	Intermitencia de Energía Renovable	10
3.2.1.	Energía Solar.....	10
3.2.2.	Energía Eólica	10
3.3.	Almacenamiento Energético.....	11
3.4.	Hidrógeno	12
3.4.1.	Electrólisis de Agua.....	14
3.4.1.1.	<i>Electrolizadores</i>	15
3.4.1.1.1.	<i>Electrolizador alcalino Líquido:</i>	15
3.4.1.1.2.	<i>Electrolizador de Membrana Polimérica (PEM):</i>	16
3.5.	Almacenamiento Energético con hidrógeno.....	17

3.5.1.	Tipos de Almacenamiento de Hidrógeno	18
3.5.1.1.	<i>Tanque de Presión</i>	18
3.5.1.2.	<i>Tanque Criogénico</i>	19
3.5.1.3.	<i>Hidruros Metálicos</i>	19
3.5.2.	Aprovechamiento de la Energía Almacenada.....	21
3.5.2.1.	<i>Celdas de Combustible PEM:</i>	21
3.5.2.2.	<i>Turbinas de Gas</i>	22
IV.	Metodología	23
V.	Resultados y Análisis.....	1
VI.	Conclusiones.....	24
VII.	Recomendaciones.....	26
VIII.	Aplicabilidad/Implementación.....	27
IX.	Evolución del Trabajo Actual	28
	Bibliografía	29
	Anexos.....	35

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.....	8
Ilustración 2.....	9
Ilustración 3.....	10
Ilustración 4.....	11
Ilustración 5.....	12
Ilustración 6.....	13

Ilustración 7.....	14
Ilustración 8.....	15
Ilustración 9.....	16
Ilustración 10.....	17
Ilustración 11.....	18
Ilustración 12.....	19
Ilustración 13.....	20
Ilustración 14.....	21
Ilustración 15.....	24
Ilustración 16.....	25
Ilustración 17.....	1
Ilustración 18.....	2
Ilustración 19.....	3
Ilustración 20.....	2
Ilustración 21.....	2
Ilustración 22.....	3
Ilustración 23.....	3
Ilustración 24.....	4
Ilustración 26.....	5
Ilustración 27.....	6
Ilustración 28.....	6
Ilustración 29.....	7
Ilustración 30.....	7

Ilustración 31	8
Ilustración 32	11
Ilustración 33	12
Ilustración 34	18
Ilustración 35	19
Ilustración 36	19
Ilustración 37	20
Ilustración 38	21
Ilustración 39	22
Ilustración 40	22
Ilustración 41	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	26
Tabla 2	26
Tabla 3	27
Tabla 4	27
Tabla 5	29
Tabla 6	30
Tabla 7	32
Tabla 8	34
Tabla 9	1
Tabla 10	8
Tabla 19	9

Tabla 20	9
Tabla 21	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 22	10
Tabla 23	11
Tabla 24	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 25	12
Tabla 26	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 11	14
Tabla 12	15
Tabla 13	16
Tabla 14	16
Tabla 15	16
Tabla 16	17
Tabla 17	17
Tabla 18	17

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	7
Ecuación 2	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Energía Limitada Cerro de Hula Energo y Febrero	35
Anexo 2 Energía Vertida Cerro de Hula marzo a mayo	36
Anexo 3 Energía Vertida Cerro de Hula junio a agosto	37

Anexo 4 Energía Vertida Cerro de Hula septiembre a noviembre	38
Anexo 5 Energía Vertida Cerro de Hula diciembre	39
Anexo 6 Incidencias tipo 1 Cerro de Hula	39
Anexo 7 Incidencias tipo 3 Cerro de Hula	39
Anexo 8 Incidencias Tipo 5 Cerro de Hula	39
Anexo 9 Incidencia Tipo 6 Cerro de Hula	40
Anexo 10 Incidencias Tipo 7 Cerro de Hula.....	40
Anexo 11 Incidencia Tipo 8 Cerro de Hula.....	41
Anexo 12 Incidencia Tipo 9 Cerro de Hula.....	41
Anexo 13 Energía Vertida COHESSA enero a marzo	42
Anexo 14 Energía Vertida COHESSA abril a junio	43
Anexo 15 Energía Vertida COHESSA julio a septiembre	44
Anexo 16 Energía Vertida COHESSA octubre a diciembre.....	45
Anexo 17 Incidencias 1 COHESSA	46
Anexo 18 Incidencia Tipo 2 COHESSA.....	47
Anexo 19 Incidencia Tipo 3 COHESSA.....	47
Anexo 20 Incidencias Tipo 4 COHESSA	47
Anexo 21 Incidencia Tipo 5 COHESSA.....	47
Anexo 22 Incidencia Tipo 6 COHESSA.....	47
Anexo 23 Incidencia Tipo 7 COHESSA.....	48
Anexo 24 Incidencia Tipo 8 COHESSA.....	49
Anexo 25 Incidencia Tipo 9 COHESSA.....	49
Anexo 26 Incidencia Tipo 10 COHESSA.....	49

LISTADO DE SIGLAS Y GLOSARIO

COHESSA Compañía Hondureña de Energía Solar Sociedad Anónima.

LCOE Costo Nivelado de la Energía (Levelized Cost of Energy).

NREL Laboratorio Nacional de Energías Renovables (National Renewable Energy Laboratory).

ODS Operador Del Sistema.

PEM Electrolito de Membrana Polimérica (Polymer electrolyte membrane).

RECO Roatán Electric Company.

TIR Tasa Interna de Retorno.

Almacenamiento Energético: El proceso de producir energía y almacenarla cuando no se necesita para utilizarla cuando es necesaria.

Celdas de Combustible: Dispositivo electroquímico que produce energía eléctrica mediante el uso de químicos, usualmente hidrógeno u otros combustibles.

Cerro de Hula: Planta de generación de energía eólica Mesoamérica.

Electrólisis: Proceso químico por medio del cual una sustancia o un cuerpo inmersos en una disolución se descomponen por la acción de la una corriente eléctrica continua.

H2A Hydrogen Production Model: Modelo de simulación de producción de hidrógeno desarrollado por el NREL.

I. INTRODUCCIÓN

La energía es uno de los primordiales incitadores del crecimiento económico. Honduras, teniendo un compromiso fuerte por fomentar el uso de las energías renovables, tiene una matriz energética compuesta mayormente de estos recursos, por lo que existe una necesidad de contemplar la necesidad de un sistema de almacenamiento energético, para lograr aprovechar más de los recursos renovables y evitar la necesidad de energías no renovables.

En Honduras la matriz energética es mayormente renovable, sin embargo, el almacenamiento energético sólo existe en los consumidores privados y recientemente en Roatán, Islas de la Bahía. El grupo tecnológico Wärtsilä ha sido contratado para agregar una solución de almacenamiento energético de 10 MW / 26 MWh a una planta de energía propiedad de Roatán Electric Company (RECO). La falta de la presencia de la tecnología en el país justifica el caso de estudio del almacenamiento energético por medio del hidrógeno.

El escenario energético hondureño está en un constante movimiento hacia las renovables, presentando diferentes problemas para la calidad del producto y servicio eléctrico. Estos problemas se solucionan actualmente con energías no renovables. Debido a su madurez como tecnología, las energías no renovables se utilizan para alcanzar los picos de la demanda, regular la intermitencia de las energías renovables y frecuencia de la red y para cubrir las faltas de recurso. Con la opción del almacenamiento energético por medio de hidrógeno se podrá alejar de este tipo de energía y conseguir una transición limpia a las energías renovables.

Por eso se analizará la información histórica que existe del país, tomando en cuenta la energía que no se pudo consumir debido a la falta de almacenamiento, se estudiarán casos a nivel mundial de almacenamiento de hidrógeno para solaparlos con Honduras y ver la aplicabilidad de la tecnología en el país. Además de esto se determinarán las diferentes tecnologías de almacenamiento y aprovechamiento del hidrógeno y se intentará llegar a una conclusión del impacto en el mercado eléctrico hondureño.

Los contenidos de este reporte incluyen la justificación del problema, un marco teórico sobre la tecnología existente para el almacenamiento energético por medio del hidrógeno, incluyendo los métodos de producir hidrógeno, su almacenamiento y el aprovechamiento de la energía del hidrógeno. Se incluye la metodología de estudio, donde se describen los cálculos realizados y los modelos de simulación utilizados. En los resultados se habla acerca de la cantidad de energía renovable que se deja de aprovechar en las dos plantas modelo seleccionadas (Cerro de Hula y COHESSA), las razones para estas limitaciones y el costo de esta energía que no se entregó. Se presentan los resultados de los cálculos realizados para el costo nivelado de la energía de hidrógeno que se pudo haber aprovechado y los resultados de la simulación de H₂A. Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones encontradas.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La curva de demanda eléctrica y la curva de la producción energética de una red deben de ser iguales. Esto es porque, tradicionalmente, la energía eléctrica no es almacenable a gran escala, y este problema solo se empeora cuando comienza a hablarse de energía renovable. La complejidad que la energía renovable trae a este problema es su intermitencia, su producción depende directamente de la naturaleza y el medio ambiente, que cambia de un momento a otro. Juntando estos dos problemas se tiene que hay casos en los que la red demanda más energía de la que los generadores renovables pueden abastecer, y el caso contrario, puede demandar menos energía de la que los productores podrían estar generando. Esto lleva a los generadores a tener que botar carga, es decir, dejar de producir energía limpia que podrían haber inyectado a la red en momentos de bajo recurso.

Otro problema presentado por la energía renovable es que tecnologías como la solar y la eólica, dependen de inversores electrónicos para poder entregar energía a el voltaje y frecuencia requerida por la red. Estos inversores, debido a que no son máquinas síncronas, y que no tienen una masa girando en forma de un volante, causa que no puedan ser utilizados como sistemas de regulación de frecuencia de la red con facilidad. El almacenamiento por medio de hidrógeno soluciona todos estos problemas, ya que, en los momentos de alto potencial y baja demanda, los generadores pueden utilizar el proceso electroquímico de electrólisis para producir hidrógeno utilizando agua, efectivamente, almacenando energía. En momentos de bajo recurso y alta demanda, los generadores pueden utilizar el hidrógeno producido para alimentar turbinas de gas y generar energía. Además de esto, las turbinas de gas harían girar a un generador, una máquina síncrona, permitiendo que este tipo de generación eléctrica se utilice para regular la frecuencia y estabilidad de la red.

En Honduras el almacenamiento energético se reserva solamente en sistemas de baterías, que aportan muy poco al aprovechamiento del potencial energético renovable y estabilidad de la red, con el sistema más nuevo siendo en la isla de Roatán. “El grupo tecnológico Wärtsilä ha sido contratado para agregar una solución de almacenamiento energético de 10 MW / 26 MWh a una planta de energía propiedad de Roatán Electric Company (RECO) en la isla caribeña de Roatán en Honduras” (Wärtsilä Corporation, 2020)

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Analizando lo expuesto se pretende recopilar la información histórica relevante para conseguir la cantidad de energía renovable desaprovechada por parte de la red. Analizar la estabilidad de la red a lo largo del tiempo para medir el impacto que tienen las generadoras renovables en esta. Por medio de un estudio histórico de capacidad instalada versus generación de las plantas renovables, y haciendo una referencia cruzada con el recurso disponible a lo largo del tiempo, se podrá dar un estimado de la cantidad de carga botada hasta hoy. Con esto se tendrá un estimado de la cantidad de energía desaprovechada que se podrá utilizar para el análisis de costo. Con esta información se podrá dar un resultado de los impactos que el almacenamiento energético por medio de hidrógeno tendrá sobre el país y los generadores.

2.3. JUSTIFICACIÓN

En Honduras, la energía renovable representó un 58.5% de toda la energía consumida para el último trimestre del año 2020. La energía solar y eólica representaron juntas 20.3% de la energía consumida (Gerencia de Planificación, Cambio e Innovación Empresarial, 2020). Eso es un quinto de toda la energía consumida en Honduras producida utilizando un recurso intermitente, poco firme, con curvas de producción que no cuadran con la curva de demanda y utilizando inversores electrónicos para ser entregada. Con la realidad que existe en el país existe una verdadera oportunidad de realizar un análisis sobre lo que implicaría que los productores renovables pudieran almacenar la energía que no pueden entregar en forma de hidrógeno y su impacto en el resto de la red de transmisión y distribución y economía

energética. Adicionalmente, es necesario hacer un análisis sobre los costos de almacenamiento energético, ya que según en sistemas como los de baterías, almacenar esa energía durante largos períodos de tiempo, resulta muy caro, mientras que, con el hidrógeno, el precio se estabiliza luego de las 11 horas (Tlili, Mansilla, & Lucchese, 2020).

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Es accesible la información acerca de la energía renovable que no se produjo debido a falta de demanda en Honduras?
- 2) ¿Qué información existe acerca del almacenamiento energético por medio del hidrógeno que nos ayude a determinar si es una tecnología que se pueda aplicar en Honduras?
- 3) ¿Qué tecnología existe para el almacenamiento de hidrógeno a gran escala?
- 4) ¿Qué método de análisis nos permite encontrar el impacto del almacenamiento energético por medio de hidrógeno en el mercado hondureño?
- 5) ¿En qué afectan los altos costos de la energía renovable en Honduras a la rentabilidad de almacenar energía renovable?
- 6) ¿Qué cambios regulatorios o económicos, si alguno, deben de existir para que el hidrógeno sea una tecnología de almacenamiento energético en Honduras?

2.5. OBJETIVOS

2.5.1.OBJETIVO GENERAL

Analizar la importancia del hidrógeno como una herramienta fundamental para la transición limpia a las energías renovables y su aplicabilidad en Honduras.

2.5.2.Objetivos Específicos

- 1) Calcular la cantidad de energía renovable que se deja de entregar debido a la disparidad en el tiempo del recurso natural y la demanda de la red en las plantas de generación escogidas.
- 2) Determinar los métodos usados alrededor del mundo para diagnosticar un mercado como preparado para recibir la tecnología de almacenamiento de hidrógeno.

- 3) Analizar las tecnologías de celdas de combustible en términos de su capacidad de recuperar la energía del hidrógeno y sus aplicaciones en el mercado hondureño.
- 4) Estudiar el impacto que el almacenamiento energético de energías renovables por medio de hidrógeno tendría en el mercado energético hondureño
- 5) Resaltar los impactos que tengan los altos precios de la energía renovable en honduras, en la rentabilidad económica de adoptar la tecnología.
- 6) Sugerir cambios regulatorios o económicos, si hubiera, que permitan la adopción de la tecnología en Honduras.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. GENERALIDADES DE LA PRODUCCIÓN Y DEMANDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

3.1.1. CURVA DE DEMANDA

En un mercado eléctrico, los generadores y las empresas de energía eléctrica deben de abastecer la demanda de energía que existe en cada momento dado. Si se grafica en un período de tiempo la demanda del sistema, se consigue la curva de demanda o curva de carga. "La curva de carga es la representación gráfica de la forma en que la instalación consumidora hace uso de sus equipos eléctricos en un determinado intervalo de tiempo" (Maqueda & Sánchez, 2008).

Una gráfica de demanda representa la cantidad de potencia que la red exige en cada diferencial de tiempo. Esto significa que cada unidad de área debajo de la curva representa la cantidad de energía que se consumió en la red en un período de tiempo. Dicho de manera numérica, la integral de la potencia en el tiempo representa la energía consumida en una red eléctrica

$$W_{in} = \int_0^t P_{in} dt$$

Ecuación 1
Fórmula de energía Consumida

Fuente: (Departamento de Física Aplicada, Universidad de Sevilla, s.f.)

La curva de demanda promedio de una red para un día comienza y termina en la misma coordenada del eje vertical, ya que es una medición de un sistema cíclico en el tiempo con un período de 24 horas. La topología de la curva de demanda de una región depende de la cultura, clima y hábitos de consumo del lugar. En qué momento del día están los locales en sus casas cocinando, usando sus electrodomésticos, aires acondicionados o calefacción. Por tanto, la curva de demanda de cada sistema es única para ellos.

3.1.2. CURVA DE DEMANDA HONDUREÑA

Para poder explicar de manera gráfica la disparidad entre la curva de demanda y el potencial de los recursos renovables, es necesario ver cómo se comporta la demanda hondureña. Las gráficas siguientes son la curva de demanda promedio del año 2019 y la curva del día con mayor consumo en el mismo año. En Honduras la demanda tiene un pico a medio día y otro a las 8 de la noche.



Ilustración 1
Demanda Eléctrica Diaria Promedio 2019 (MW)

Fuente: (Dirección General de Electricidad y Mercados, 2019)

Como se puede ver, cerca de medio día hay una demanda de alrededor de 1350 MW y a las 8 pm cerca de 1450 MW. Es necesario saber cuándo en el día se presentan estos picos, ya que los picos de potencial de energía renovable idealmente deberían alinearse con ellos.

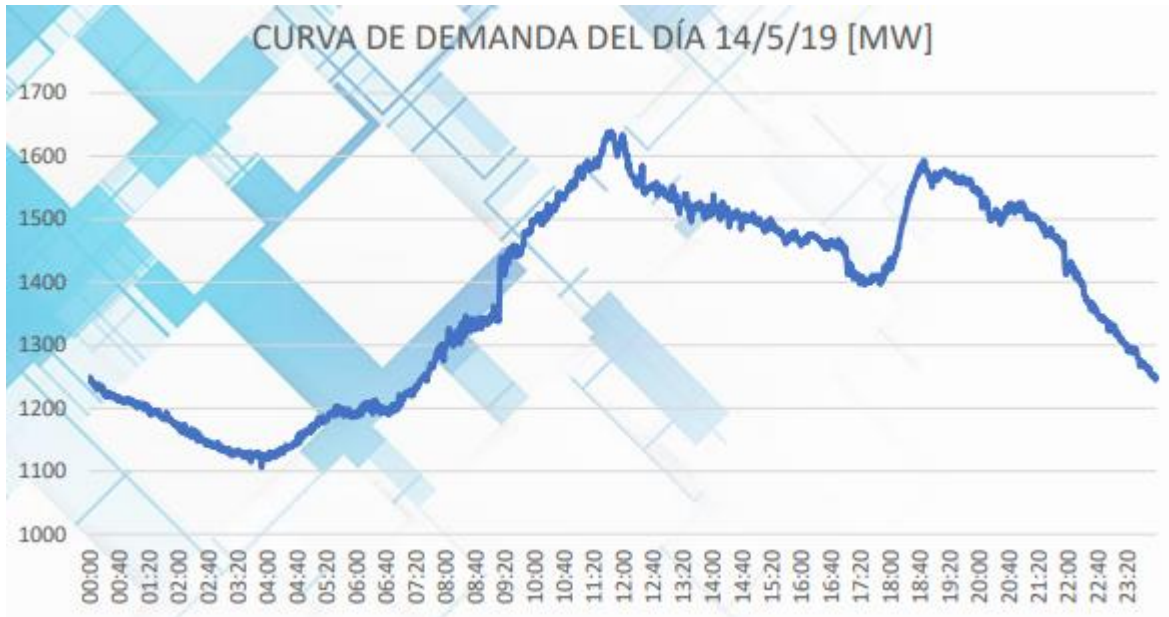


Ilustración 2
Curva de Demanda del Día con Mayor Demanda

Fuente: (Dirección General de Electricidad y Mercados, 2019)

3.1.3. PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

La producción es el cambio de potencia que es entregada a la red en base a la demanda que se experimenta. Tradicionalmente la curva de producción debe ser igual a la de demanda, se debe producir la energía al mismo tiempo que se consume. Los recursos energéticos tradicionales son excelentes para seguir con exactitud la demanda de la red. Si se ven los generadores de combustibles fósiles, pueden incrementar o disminuir la producción energética al instante. Esto no significa que no se puede modular la producción de energía renovable, dentro de la capacidad de producción del recurso, se puede modular la cantidad de energía entregada a la red. "Con carácter general, la energía no se puede almacenar, de modo que en el momento en el que se produce se tiene que verter al sistema eléctrico" (González, 2016)

3.2. INTERMITENCIA DE ENERGÍA RENOVABLE

La energía renovable, como se ha explicado anteriormente, es intermitente debido a que su potencial es directamente dependiente del clima y las circunstancias de momento a momento.

3.2.1. ENERGÍA SOLAR

Los gráficos mostrados por el Operador del Sistema representan unidades de energía generada por cada unidad de potencia instalada, con el propósito de generalizar el comportamiento del recurso a lo largo de un día típico. La generación solar representa una campana, con mayor producción cuando el Sol está más cerca del cenit.

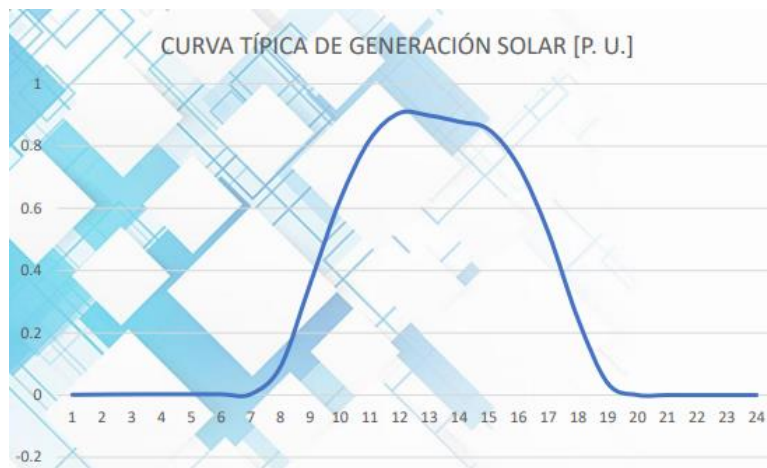


Ilustración 3
Curva Típica de Generación Solar

Fuente: (Operador del Sistema, 2021)

3.2.2. ENERGÍA EÓLICA

La producción eólica tiene su máximo en las primeras horas del día, decayendo después de las ocho de la mañana hasta las 4 de la tarde, donde comienza a subir de nuevo. De este punto sigue subiendo hasta llegar una vez más a las ocho de la mañana. La curva de producción de energía eólica es muy variante debido a la variabilidad del recurso del viento.

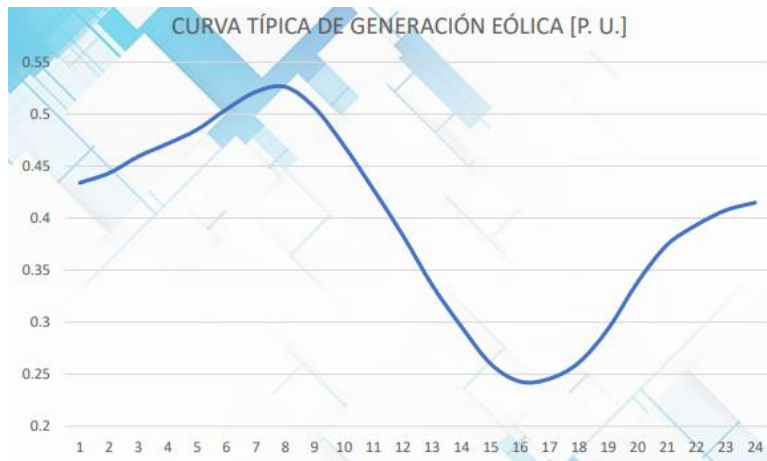


Ilustración 4
Curva Típica de Generación Eólica

Fuente: (Operador del Sistema, 2021)

3.3. ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

Como se puede ver, la curva de consumo y las curvas de producción de energías renovables intermitentes, tienen picos en momentos diferentes del día. Esto requiere el uso de tecnologías que ayuden a aplanar o suavizar las curvas de tal manera que sea más sencillo hacer que ambas sean iguales. “Otra especificidad de la producción renovable variable es su fatal e intermitente naturaleza, que requiere el desarrollo de técnicas para suavizar o amortiguar el diferencial de producción y consumo para preservar el equilibrio del sistema energético” (Tlili, Mansilla, & Lucchese, 2020).

El problema radica en que tradicionalmente se utilizan fuentes de energía firmes, “(...) aquella energía en un sistema eléctrico que está garantizada en todo momento del día o del año, no importan las condiciones del sistema (...)” (Dobles, 2017) para alcanzar los picos de la demanda energética. Sin embargo, entre los generadores de energía firme se encuentran los combustibles fósiles, por su rapidez en comenzar a generar y su fácil escalabilidad. Esto es un mal escenario para la transición limpia a las energías renovables, ya que no podemos dejar de depender en las energías firmes.

Entre las posibles soluciones a nuestra dependencia de la firmeza de los combustibles fósiles, se encuentran sistemas de almacenamiento energético, que nos permiten tomar los picos de producción de las energías renovables y trasladarlos a los valles, haciendo que la curva de suministro sea más suave y regulando la constancia del suministro eléctrico. Estos problemas se solucionan con “(...) la capacidad de equilibrar la oferta y la demanda repentinas al encender o apagar la energía en ráfagas localizadas. Esta necesidad es donde entra en juego el almacenamiento de energía” (Consolidated Electrical Distributors GreenTech, s.f.)

3.4. HIDRÓGENO

El hidrógeno es el elemento con menos masa y el más abundante en el universo, es estable en su forma gaseosa (H_2). A pesar de que es muy abundante, no se encuentra en su estado natural en la Tierra. “se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno formando moléculas de agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos” (Foro Nuclear, s.f.). El hidrógeno es un combustible muy prometedor debido a su alto contenido energético. “El hidrógeno tiene un alto contenido energético (118 MJ/Kg a 25°C), el cual es mucho mayor que el de la mayoría de los combustibles (...)” (Flores & Albarrán, 2019) Las diferentes maneras para producir hidrógeno se encuentran en la ilustración 5.

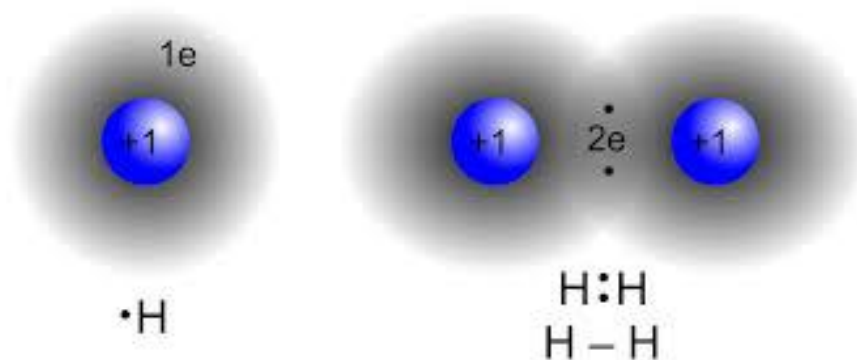


Ilustración 5
Átomo y Molécula de Hidrógeno

Fuente: (Khan Academy, 2018)

Propiedades Físicas del hidrógeno (Fernández, 2005):

- 1) **Densidad:** 0.0899 kg/Nm³.
- 2) **Poder calorífico superior:** 141 MJ/kg.
- 3) **Poder calorífico inferior:** 119 MJ/kg.
- 4) **Límites de inflamabilidad a 101.3 kPa y 298 K:** 4.1% a 74.8%.

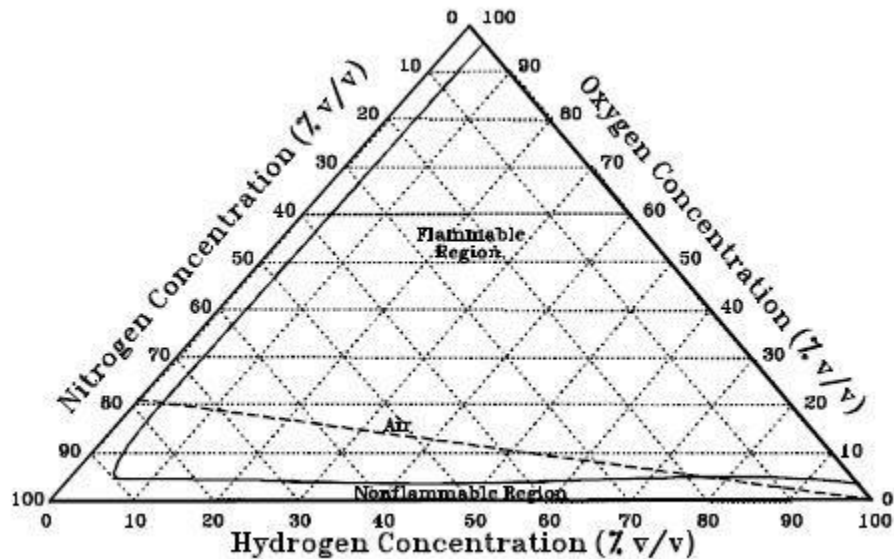


Ilustración 6

Diagrama ternario que representa el límite de inflamabilidad de las distintas composiciones de hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, entre ellas el aire

Fuente: (Santiago, 2018)

- 5) **Para el caso de mezcla hidrógeno-oxígeno:** 4.1% a 94%
- 6) **Temperatura de autoignición a 101.3 kPa:** 773 a 850 K
- 7) **Energía mínima de chispa para ignición para mezcla de hidrógeno-aire:** 0.017mJ (101.3kPa), 0.09 (5.1 kPa), 0.56 (2.03) kPa.

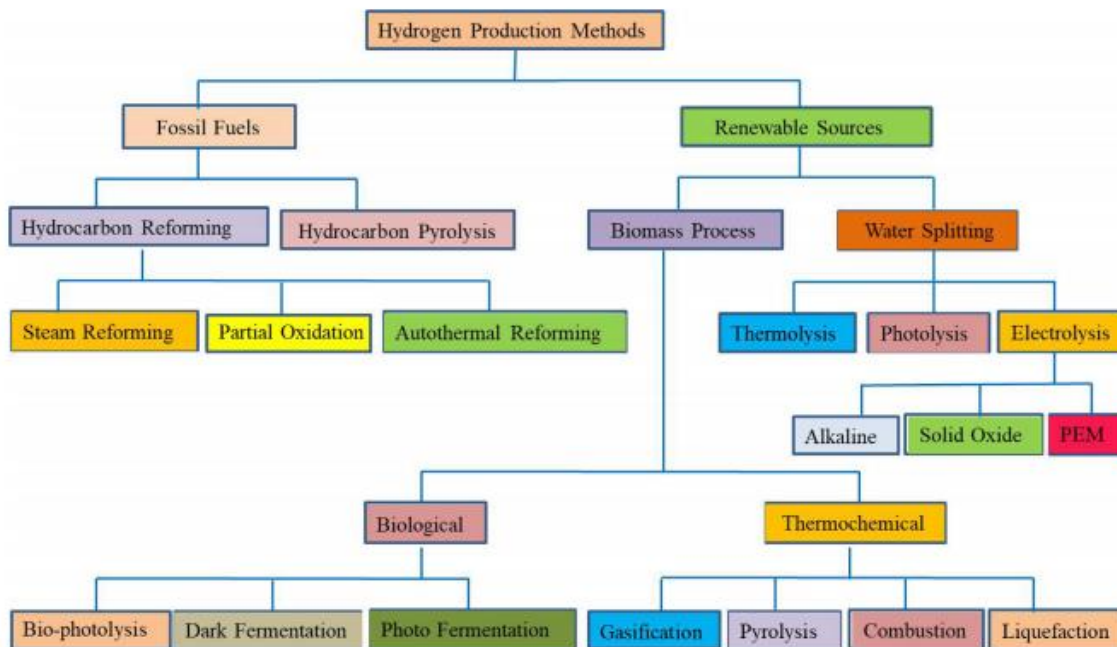


Ilustración 7
Diferentes Métodos de Producción de Hidrógeno

Fuente: (Shiva & Himabindu, 2019)

3.4.1. ELECTRÓLISIS DE AGUA

Debido a que el hidrógeno no se encuentra en su estado natural, es necesario encontrar maneras y procesos en la cual se puede producir hidrógeno. Una de las maneras en las que se puede conseguir hidrógeno, es por medio del proceso electroquímico de la electrólisis. “Electrólisis es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad” (EcuRed, s.f.).

El proceso de electrólisis del agua requiere la disolución de electrolitos en el agua para hacerla conductora. Se introduce el ánodo (negativo) y el cátodo (positivo) de una fuente de voltaje en el agua y el oxígeno es atraído al cátodo y el hidrógeno al ánodo. El producto resultante es gas de oxígeno y gas de hidrógeno.

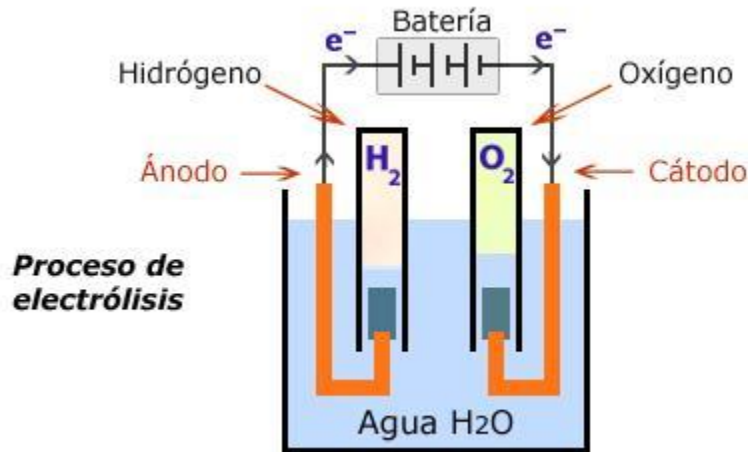


Ilustración 8
Proceso de Electrólisis

Fuente: (Glosario de Física, 2017)

3.4.1.1. ELECTROLIZADORES

Para generar el hidrógeno a partir del agua y corriente eléctrica, se necesita un sistema que transmita la electricidad a través del fluido. Este aparato es el electrolizador.

3.4.1.1.1. ELECTROLIZADOR ALCALINO LÍQUIDO:

Su funcionamiento es basado en la solución de un electrolito en el fluido acuoso. “En los electrolizadores alcalinos se utiliza un electrolito líquido (típicamente una solución del 25% de hidróxido de potasio). Estos electrolizadores han llegado a alcanzar una eficiencia del 80%” (Pino, 2009). En su conexión monopolar, todas las celdas electrolíticas están conectadas en paralelo entre sí, estando conectados todos los ánodos y cátodos al mismo nodo respectivamente. Dentro de la celda los ánodos y cátodos están separados entre sí por una barrera física, un aislante eléctrico generalmente cerámico.

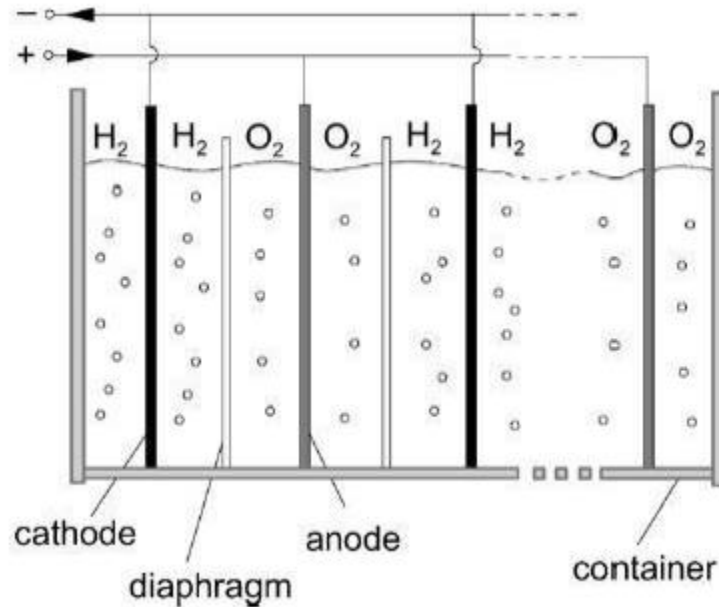


Ilustración 9
Diagrama de Electrolizador Alcalino Líquido Monopolar

Fuente: (López, 2011)

3.4.1.1.2. *ELECTROLIZADOR DE MEMBRANA POLIMÉRICA (PEM):*

Los electrolizadores PEM tienen su mejor aplicación en pequeña y mediana escala de energía renovable, ya que la variabilidad de la fuente no afecta su rendimiento produciendo hidrógeno. Este tipo de electrolizadores, a pesar de ser una tecnología algo nueva, tiene la ventaja de que las pilas de combustible tipo PEM están siendo adoptadas por el mercado y produciéndose en masa. Además de esto son muy eficientes en su producción de hidrógeno. “Se espera que la eficiencia de los electrolizadores PEM pueda llegar hasta el 94%, pero por ahora esto es algo teórico” (Pino, 2009)

La característica de los electrolizadores PEM es que utilizan una membrana sólida como electrolito, permitiendo su operación con mayores densidades de corriente y bajas temperaturas. Su funcionamiento se basa en el bombeo de agua al ánodo, donde es separada en oxígeno, protones (H^+) y electrones (e^-). Los protones, o cationes de hidrógeno, pasan por la membrana hacia el lado del cátodo, donde se recombinan para formar hidrógeno.

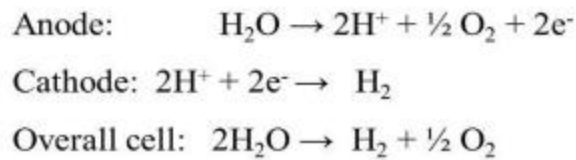
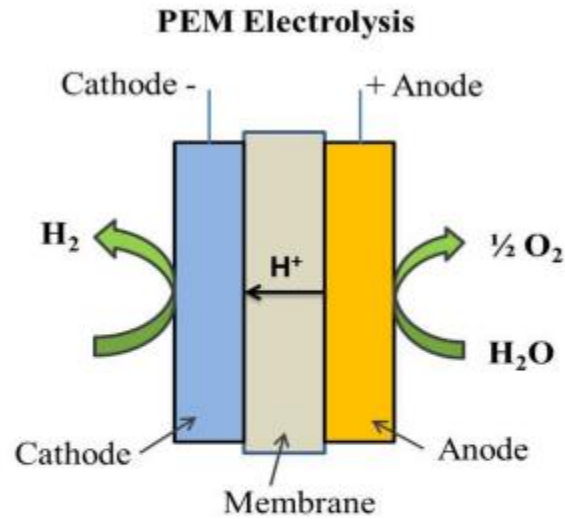


Ilustración 10
Ilustración Esquemática de Electrolizador PEM

Fuente: (Shiva & Himabindu, 2019)

3.5. ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO CON HIDRÓGENO

El almacenamiento de energía usando hidrógeno, se basa en la misma idea que el almacenamiento energético con cualquier otro método. Su principal propósito es lograr que se aproveche todo el recurso renovable todo el tiempo, de tal manera que si se puede generar energía renovable pero no hay demanda, se utiliza para generar hidrógeno y usar esa energía cuando se necesite. “El hidrógeno tiene el mayor potencial entre las tecnologías para el almacenamiento de energía estacional en el futuro” (National Renewable Energy Laboratory, 2020)

3.5.1. TIPOS DE ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO

3.5.1.1. TANQUE DE PRESIÓN

Los tanques de presión son la manera convencional de almacenar gas. Se comprime el gas en un volumen reducido con el propósito de poder manejarlo con mayor facilidad. El problema con esta estrategia de almacenamiento energético es que el hidrógeno es mucho menos denso que otros combustibles gaseosos. "Debido a la baja densidad del hidrógeno, su almacenamiento siempre requiere grandes volúmenes y está asociado con altas presiones, con muy bajas temperaturas y/o en combinación con otros materiales" (Oscar, 2016). Esto causa que se necesite mucho mayor volumen para almacenar la misma cantidad de energía.

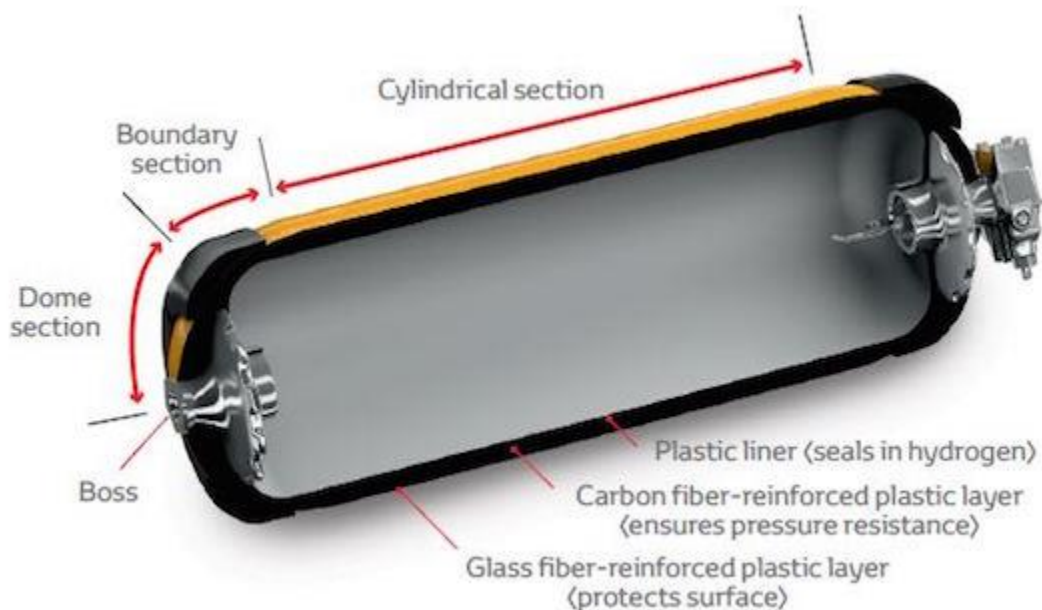


Ilustración 11
Depósito de hidrógeno de alta presión del Toyota Mirai

Fuente: (Oscar, 2016)

3.5.1.2. TANQUE CRIOGÉNICO

Los tanques criogénicos consisten en enfriar el hidrógeno por debajo de su punto de ebullición, pudiendo así almacenarlo de manera mucho más densa en su forma líquida. La licuación o licuefacción es "Conversión de un gas en líquido por compresión a muy bajas temperaturas" (Real Academia Española, s.f.).

El proceso de licuación del hidrógeno consiste en el ciclo térmico de expansión Joule-Thompson. Una serie de compresores, intercambiadores de calor y válvulas de expansión se encargan de conseguir la presión y temperatura necesaria para licuar el gas. Primero, el gas sufre una compresión isotérmica (1 a 2), luego es enfriado isobáricamente (2 a 3) y finalmente experimenta una expansión isentálpica. De este paso el hidrógeno que siga en su estado gaseoso es recirculado al paso 1.

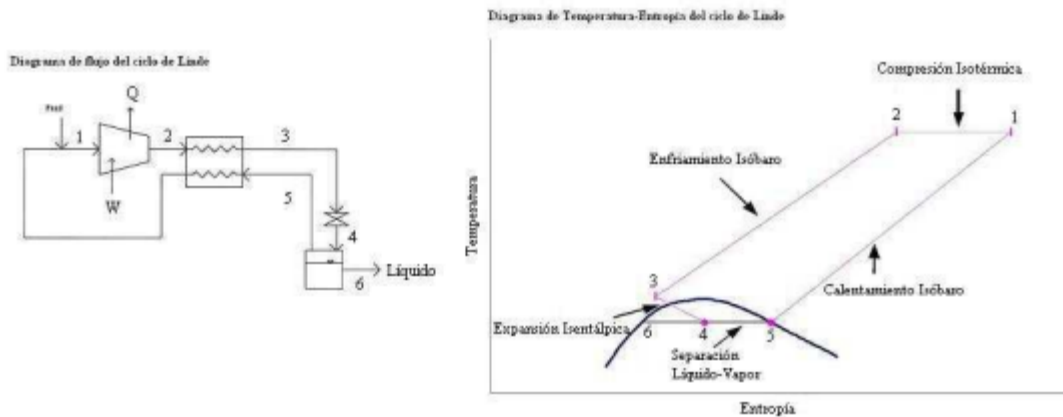


Ilustración 12
Ciclo de Expansión Joule-Thompson

Fuente: (King, 2019)

3.5.1.3. HIDRUROS METÁLICOS

Los hidruros metálicos son un método de almacenamiento de hidrógeno en estado sólido. Sin embargo, no se utiliza su temperatura de fundición, sino más bien la capacidad que tienen algunos metales de incorporar el hidrógeno a su estructura física convirtiéndose en hidruros metálicos. "Son compuestos binarios o diatómicos formados por hidrógeno y un metal" (Pérez, 2019) Los beneficios de este método de almacenamiento son que pueden

almacenarse en muy bajas presiones. La cantidad de masa en los hidruros metálicos resultantes es siempre mayor a la masa de los metales por sí solos, por lo que la capacidad de almacenaje de este método es inversamente proporcional a la densidad gravimétrica de los mismos. Es decir, entre más livianos son los elementos metálicos utilizados, mayor es su capacidad de almacenar hidrógeno.

Las baterías de hidruros metálicos tienen componentes afines al hidrógeno y poco afino al hidrógeno, A y B respectivamente. Algunos hidruros metálicos son:

- 1) De base zirconio con titanio, vanadio y níquel: Tienen unas aleaciones en la práctica de 1.8% y operan a temperaturas inferiores a 60°C.
- 2) Hidruros activados de magnesio: trabajan en rangos de temperatura de 260-280°C con una capacidad de almacenamiento de 5 a 6%
- 3) Hidruros metálicos compuestos "alanates": Tienen una capacidad de almacenaje de 5% y operan hasta 100°C.



Ilustración 13

Acumulador realizado por el grupo MIRE. Volumen = 50 cm³ y capacidad similar a una botella de 100 cm³ a 250 bares (2.2 g de H₂).

Fuente: (Ares, s.f.)

3.5.2. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA ALMACENADA

La energía que se pueda almacenar en la producción de hidrógeno no tiene razón de ser si no hay también, una manera de aprovecharla cuando se necesite. De esta manera, convertir la energía invertida en el hidrógeno de regreso a energía eléctrica o mecánica es el fin de su almacenamiento. Existen dos grandes maneras de recuperar la energía almacenada, pasar el hidrógeno por celdas de combustible y el aprovechamiento en turbinas de gas.

3.5.2.1. CELDAS DE COMBUSTIBLE PEM:

Las celdas de combustible son, en términos simples, la reversión del proceso de la electrólisis. Donde la electrólisis toma un sistema estable y lo mueve a un punto más inestable sacrificando energía, las celdas de combustibles regresan el sistema a su estado estable, recuperando esa energía. "Una celda de combustible PEM es una celda electroquímica que se alimenta de hidrógeno, que se oxida en el ánodo, y oxígeno que se reduce en el cátodo" (Litster & McLean, 2003). Los protones que se liberan durante el proceso de oxidación viajan por la membrana. Como la membrana es aislante eléctrica, los electrones deben viajar por el circuito conectado a la celda, generando corriente eléctrica. "Este tipo de celdas de combustibles alcanzan eficiencias en práctica de 40-60%" (Vallejo, 2003)

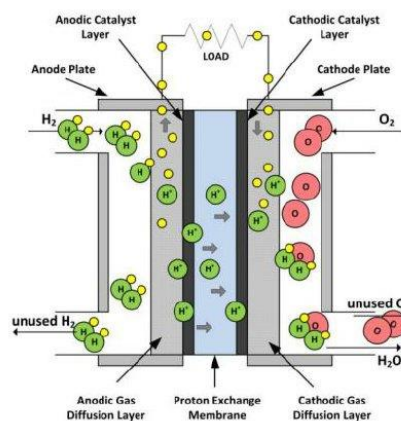


Ilustración 14

Celda de Combustible con Membrana de Intercambio de Protones

Fuente: (Abaspour, Tadrissi, & Sadeghi, 2014)

3.5.2.2. *TURBINAS DE GAS*

Como visto anteriormente en las propiedades del hidrógeno, es un gas inflamable, por lo que puede ser utilizado en combinación con otros gases como combustible para turbinas de gas. Actualmente la empresa más prominente en el mercado de turbinas de hidrógeno es General Electric, quienes dicen trabajar con turbinas de hidrógeno hace más de 30 años.

Nuestras turbinas tienen casi 30 años de experiencia operando con una variedad de combustibles que contienen hidrógeno, con un total de más de 6 millones de horas de operación como turbinas de hidrógeno que utilizan concentraciones que van del 5% al 95% (por volumen). (GE Power, 2019)

Las turbinas que se mencionan en la cita anterior son turbinas que aprovechan los gases de escape, ricos en hidrógeno, de procesos industriales como refinerías y la industria de metalurgia. Sin embargo, esta tecnología ha sido implementada para utilizar hidrógeno como el principal combustible de la turbina y no solo como un reaprovechamiento de los gases de escape. "GE tiene tecnologías de combustión que son capaces de operar en una amplia gama de concentraciones de hidrógeno hasta ~ 100% (por volumen) convirtiendo una turbina de gas en una turbina de hidrógeno" (GE Power, 2019).

IV.METODOLOGÍA

4.1. Enfoque

Debido a la naturaleza de lo que se quiere realizar, se consideró que la investigación es una de carácter mixto. Si bien se realizaron los cálculos y comparaciones pertinentes al tema, también se pretendió dibujar conclusiones y recomendaciones a futuro para abrir las puertas a la tecnología.

4.2. Variables de Investigación

- Energía producida por las plantas de generación renovables.
- Recurso renovable disponible a lo largo del día.
- Generadores de energía eléctrica en Honduras.
- Precio de la energía generada.
- Costo de generación de la energía
- Confiabilidad de la red.
- Estabilidad del servicio eléctrico.
- Costo de almacenamiento del hidrógeno en honduras

4.3. Técnicas e Instrumentos Aplicados

4.3.1. Cálculo del LCOE para el Almacenamiento Energético:

“El costo nivelado de la energía (LCOE, por sus siglas en inglés) es una herramienta útil que permite comparar de forma consistente los costos de diferentes tipos de tecnologías (solar, eólica, gas natural, etc.)” (García, 2018) Es necesario analizar el LCOE de la energía con el almacenamiento energético y sin almacenamiento energético para poder determinar si la aplicación de la tecnología en las energías renovables resultará en un mejor o peor caso.

El cálculo se realizará utilizando la vida útil de 10 años de los electrolizadores Norsk Atmospheric 5040.

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Ecuación 2
Cálculo del LCOE

Fuente: (Moreno, 2017)

4.3.2. H2A Hydrogen Production Model

H2A Hydrogen Production Model fue el modelo utilizado para el cálculo del LCOE para el hidrógeno almacenado. Esta herramienta fue desarrollada por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL, por sus siglas en inglés). En ambos casos se tomó una planta de energía eólica y una solar como ejemplos de generación de hidrógeno con su energía excedente.

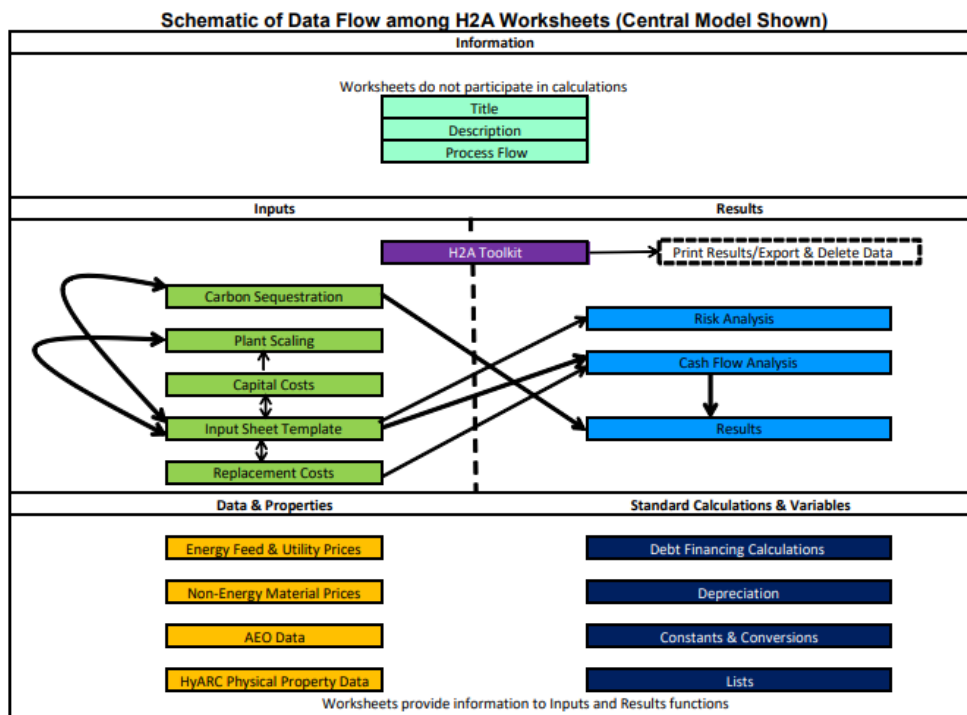


Ilustración 15
Diagrama de Flujo de Simulación H2A

Fuente: (Penev, Saur, Hunter, & Zuboy, 2019)

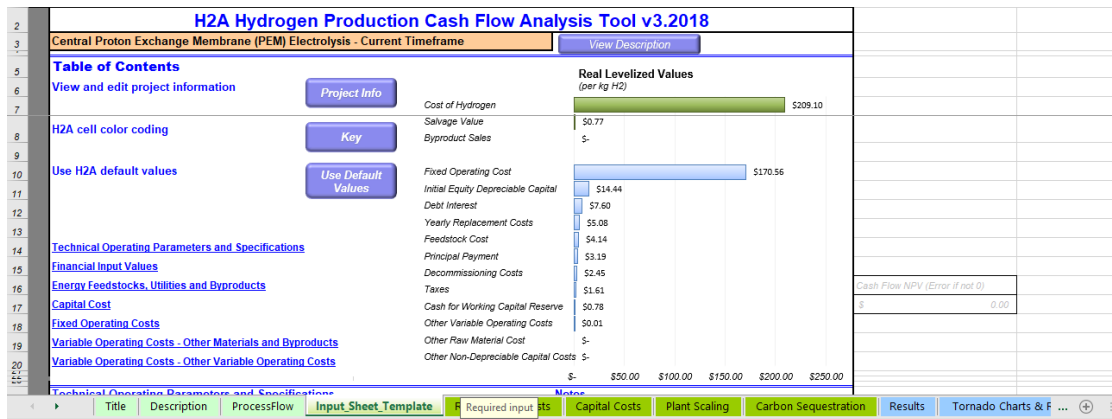


Ilustración 16

Captura de Pantalla H2A Hydrogen Production Cash Flow Analysis Tool v3.2018

Fuente: (Penev, Saur, Hunter, & Zuboy, 2019)

El sistema fue escogido debido a la información pedida. Para poder realizar la simulación, fue necesario investigar y calcular los siguientes valores:

- 1) Factor de planta: Se asumió un 15%.
- 2) Kilogramos de hidrógeno por día: Se hizo un promedio con los días de limitación de las plantas.
- 3) Inversión de Capital
- 4) Costo de operación: Se tomó el valor predeterminado del programa, 2%.
- 5) Impuestos: Se tomó los valores, 0%.
- 6) Costo de la energía: Debido a que la energía que se utilizaría es energía que se desperdicia, se tomó como valor \$0.00.
- 7) Energía requerida por masa de hidrógeno: se tomó la energía requerida por el electrolizador seleccionado, 54.4 kWh/kgH₂.
- 8) Salario de los operadores: Se usó el predeterminado del programa, \$9/hora.
- 9) Tipo de entrada al electrolizador: Se utilizó agua desmineralizada.
- 10) Costos de reemplazo para la vida útil del equipo: se tomó el valor del electrolizador cada 10 años, que es su vida útil.
- 11) Opción de secuestro de carbón: desactivado.
- 12) Para el análisis de riesgo, un rango de variabilidad: se tomaron los valores de más y menos 5%.

Tabla 1
Valores para el Análisis de Riesgo

Parameter	Nominal	Enter deviation % for lowering H2 cost	Enter deviation % for increasing H2 cost	Price-decreasing factor	Price-increasing factor	Price-decreasing value	Price-increasing value
Operating Capacity Factor	15%	5%	5%	105%	95%	16%	14%
Plant Design Capacity (kg of H2/day)	1,539	5%	5%	105%	95%	1,616	1,462
After-tax Real IRR	0%	5%	5%	95%	105%	0%	0%
Feedstock Consumption (% of baseline)	100%	5%	5%	95%	105%	0.950	1.050
Utilities Consumption (% of baseline)	100%	5%	5%	95%	105%	0.950	1.050
Total Capital Investment	1,786,683	5%	5%	95%	105%	1,697,349	1,876,017
Total Fixed Operating Cost	113,853	5%	5%	95%	105%	108,161	119,546

Fuente: (Penev, Saur, Hunter, & Zuboy, 2019)

4.3.3. Informes Diarios de Limitación Energética de Generadores Renovables del ODS:

El Operador del Sistema en Honduras, se encarga de presentar los datos de la energía limitada para los generadores renovables de forma diaria. Se tomó la información disponible para dos generadores representativos de los tipos de energía renovables más volátiles, la eólica y la solar. Se tabuló la energía no entregada por estos generadores y las diferentes razones dadas por los reportes de por qué no se logró entregar esta energía. Dentro de las razones, se tomaron las razones que no evitan la producción de hidrógeno y con esta cantidad de energía limitada se realizó el análisis de producción de hidrógeno.

4.3.4. Cálculo de energía vertida y capacidad de producción de Hidrógeno:

Con la información del ODS y del fabricante de los electrolizadores Nos Atmospheric 5040, se encontró la cantidad de energía que se necesita para producir una unidad de masa de hidrógeno, y cuánta energía se recupera de la misma.

Tabla 2
Especificaciones del Fabricante Nos Atmospheric 5040

Norsk Atmospheric 5040	
Densidad del hidrógeno	0.089 kg/m ³
Energía sobre volumen	54.4 kWh/kgH ₂
Eficiencia	80%

Con esta información se realizaron los cálculos de cuánto hidrógeno se pudo haber aprovechado por cada día lo largo del año 2019.

4.4. Metodología del Estudio

4.4.1. Selección de Generadores Renovables Representativos

Los generadores de energías renovables que se escogieron para realizar las simulaciones fueron escogidos por la facilidad de obtención de datos. Los datos requeridos de las plantas de generación fueron:

- 1) El potencial de generación que se tuvo en un año.
- 2) La cantidad de energía entregada a la red en ese mismo período de tiempo.
- 3) El costo de producción de la energía por unidad de energía.
- 4) El valor en el que se vendió la energía a la red eléctrica.

Esta información fue requerida para realizar los cálculos pertinentes y por los modelos de simulación utilizados. Las plantas escogidas para realizar la simulación fueron:

- 1) Proyecto Eólico Cerro de Hula con una capacidad instalada de 124 MW, 51 turbinas eólicas y una producción estimada de 255 GWh anual.

Tabla 3
Información General Cerro de Hula

Cerro de Hula		
Precio de la energía (\$/MWh)	Capacidad Instalada (MW)	precio potencia (USD/KW-Mes)
106	124	3.99

Fuente: (La Gaceta, 2013)

- 2) Compañía Hondureña de Energía Solar (COHESSA), con una capacidad instalada de 50 MW y una producción de 127,103.5 MWh neta en el 2019. (Empresa Nacional de Energía Eléctrica, 2020)

Tabla 4
Información General COHESSA

COHESSA		
Precio de la energía (\$/MWh)	Capacidad Instalada (MW)	Precio potencia (USD/KW-Mes)
154.45	50	8.68

Fuente: (Empresa Nacional de Energía Eléctrica, 2020)

4.4.2. Selección de los métodos de Simulación:

Los métodos de simulación utilizados fueron escogidos por la credibilidad de los creadores y facilidad de uso. Los métodos de simulación escogidos fueron:

- 1) H2A Hydrogen Production Model
- 2) Cálculo de LCOE y flujo de caja

Estas herramientas son herramientas de acceso abierto para realizar análisis económicos de energía eléctrica. El cálculo de LCOE y flujo de caja es esencial para determinar la rentabilidad y la viabilidad económica del proyecto propuesto. Por esta razón se determinó como necesario realizar los cálculos pertinentes. Esto permitió descubrir qué tan beneficioso es el almacenamiento energético.

H2A Hydrogen, es una herramienta que simula el caso económico de la generación de hidrógeno en base a datos históricos existentes de la planta. Este método de generación nos permitirá determinar la viabilidad económica de adoptar el almacenamiento energético en ambas plantas de generación.

4.4.3. Sistematización de la información de los generadores:

Se tabuló la información disponible para las plantas de energía renovable escogidas. La información que se tomó de los reportes diarios de la ODS fue el mes, día del mes, día juliano del año, energía vertida (MWh), potencia limitada (MW), Tiempo de limitación (h), qué tipo de incidencia ocurrió (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10), y el número de incidencias que ocurrieron en cada día.

Tabla 5
Ejemplo de Tabulación de Datos

Mes	Día del mes	Día del año	COHESA													Número de incidencias				
			Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo de la Limitación (h)	Incidencia														
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Enero	1	1	13.5	15	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	3	21.6493	24.98	0.8667	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	4	4	25.415	29.9	0.85	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	6	8.405	12.3	0.6833	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	8	22.9	22.9	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	9	9	0	0	0.8167	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	12	22.5	30	0.75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	14	17.3133	19.6	0.8833	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	15	15	17.6667	20	0.8833	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	17	21.4667	23	0.9333	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	18	18	19.2815	23.61	0.8167	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	19	19	29.1433	24.98	1.1667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	20	20	17.6485	22.53	0.7833	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	21	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	26	18.2035	22.29	0.8167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	27	27	37.8893	23.08	1.6333	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	28	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	31				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Una vez tabulados los datos de ambas plantas de generación, se categorizó cada tipo de incidencia declarada por el ODS según sus diferentes tipos, del 1 al 10.

Tabla 6
Leyenda de las Incidencias

Leyenda de las Incidencias	
1	Alta variabilidad de generación fotovoltaica
2	Pérdida de control del parque fotovoltaico
3	Baja demanda zona Centro-Sur
4	Mejorar voltaje en PGR B603
5	Mejorar reserva secundaria en el sistema (permitir entrada de unidades de El Cajon)
6	Mantenimiento programado
7	Estado de Emergencia
8	Otro
9	Baja demanda nacional
10	Evitar sobrecarga PGR T603 y PGR T604

Fuente: Elaboración Propia

Con estos incidentes, y sabiendo cómo se comportan los electrolizadores PEM, podemos determinar qué y cuánta energía se puede aprovechar siendo almacenada en hidrógeno. Las incidencias que se consideraron como energía que se puede almacenar por medio del hidrógeno son:

- 1) Alta variabilidad de generación fotovoltaico. Como los electrolizadores PEM funcionan con energía DC y no les afecta la variabilidad de la fuente en su producción energética, la energía vertida debido a esta incidencia podría ser aprovechada produciendo hidrógeno.
- 2) Baja demanda zona Centro-Sur. Esta incidencia representa el caso discutido donde hay no hay oportunidad de inyectar la energía y alto recurso renovable, por lo que se puede almacenar esta energía utilizando hidrógeno.
- 3) Mejorar voltaje en PGR B603. Como se describió anteriormente, las plantas de generación muy variables no pueden ser utilizadas para mejorar la calidad de electricidad entregada por la red, por lo que deben de ser sustituidas por máquinas síncronas. Esta energía podría ser almacenada para utilizarla posteriormente.
- 4) Mejorar reserva secundaria en el sistema (permitir entrada de unidades de El cajón).
- 5) Otro. Se supondrá que las incidencias marcadas como "otro" son oportunidades de almacenamiento energético por medio de hidrógeno.

- 6) Baja demanda nacional.
- 7) Evitar sobrecarga PGR T603 y PGR T604: Es el punto de conexión entre el norte y el sur del país. Por lo que cuando hay más demanda en una mitad y más generación en otra, y este diferencial supera la potencia máxima de los transformadores, hay que limitar la generación en el lado con mayor producción y moverla al lado con mayor demanda.

4.4.4. Cálculo de la Energía almacenable con Hidrógeno:

Tomando la energía vertida por las plantas seleccionadas, se filtraron los datos tomando en cuenta sólo las incidencias escogidas, con esta energía se realizaron las estimaciones de producción de hidrógeno.

Tabla 7
Energía Almacenable con Hidrógeno Cerro de Hula

Cerro de Hula							
Tipo de incidencia	Día del año	Energía Vertida (MWh)	Capacidad Limitada	Tiempo (h)	Incidentes	kgH2 Generado	m ³ H2
Incidencia 1	171	23.4967	26.6	0.8833	3	431.9246324	4853.08576
	186	40.25	23	1.75	1	739.8897059	8313.36748
	187	8.216	18.96	0.4333	1	151.0294118	1696.95968
Incidencia 3	108	11.3333	20	0.5667	1	208.3327206	2340.81709
	194	23.6	24	0.9833	1	433.8235294	4874.42168
	222	34.8333	38	0.9167	1	640.3180147	7194.58443
	230	4.6667	35	0.1333	1	85.78492647	963.875578
	307	29.07	30.6	0.95	1	534.375	6004.21348
Incidencia 5	322	459.206	36.4333	11.9167	1	8441.286765	94845.9187
	86	24.934	19.18	1.3	1	458.3455882	5149.95043
Incidencia 8	163	9.0667	32	0.2833	1	166.6672794	1872.66606
	167	20.75	15	1.3833	1	381.4338235	4285.7733
	173	23.6833	29	0.8167	1	435.3547794	4891.62673
	180	27.5	33	0.8333	1	505.5147059	5679.94052
	191	9.1	13	0.7	1	167.2794118	1879.54395
Incidencia 9	196	34.4317	28.3	1.2167	1	632.9356618	7111.63665
	1	9.5	10	0.95	1	174.6323529	1962.16127
	33	17.5	21	0.8333	1	321.6911765	3614.5076
	40	23.85	27	0.8833	1	438.4191176	4926.0575
	61	133.4667	28	4.7667	1	2453.431985	27566.6515
	73	11.25	27	0.4167	1	206.8014706	2323.61203
	75	64.488	26.87	2.4	1	1185.441176	13319.5638
	84	32.142	29.22	1.1	1	590.8455882	6638.71447
	131	7.5	30	0.25	1	137.8676471	1549.07469
	132	19.8333	17	1.1667	1	364.5827206	4096.43506
	149	21.2077	20.86	1.0167	1	389.8474265	4380.30816
	152	16.6333	19.96	0.8333	1	305.7591912	3435.49653
	156	30.9333	32	0.9667	1	568.6268382	6389.0656
	164	16.0467	33.2	0.4833	1	294.9761029	3314.33824
	183	5.3333	20	0.2667	1	98.03860294	1101.55734
	197	37	30	1.2333	1	680.1470588	7642.10178
	204	25.8333	25	1.0333	1	474.8768382	5335.69481
	210	53.2667	34	1.5667	1	979.1672794	11001.8795
	217	24.75	27	0.9167	1	454.9632353	5111.94646
	220	12.6667	20	0.6333	1	232.84375	2616.22191
	221	10.9525	10.11	1.0833	1	201.3327206	2262.1654
	223	29.15	33	0.8833	1	535.8455882	6020.73695
	231	15.925	19.5	0.8167	1	292.7389706	3289.20192
	292	35.2623	12.98	2.7167	1	648.2040441	7283.19151
	361	958.2417	55.75	18.0167	1	17614.73713	197918.395
	68	123.4667	24	5.3	2	2269.608456	25501.2186
	82	70.1	32.5	2.15	2	1288.602941	14478.6847
81	57.3167	23	2.4833	3	1053.615809	11838.3799	
83	87.005	29.8167	2.9167	3	1599.356618	17970.2991	
360	1031.9667	42	19.15	3	18969.9761	213145.799	
Total		3766.7253		102.3	55	69241.2739	777991.842

Fuente: Elaboración propia

COHESA							
Tipo de incidencia	Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias	kgH2 Generado	m ³ H2
Incidencia 1	3	21.6493	24.98	0.8667	1	397.9650735	477.5771913
	4	25.415	29.9	0.85	1	467.1875	560.6474259
	6	8.405	12.3	0.6833	1	154.5036765	185.4118282
	12	22.5	30	0.75	1	413.6029412	496.3433831
	17	21.4667	23	0.9333	1	394.6084559	473.549089
	18	19.2815	23.61	0.8167	1	354.4393382	425.3442197
	20	17.6485	22.53	0.7833	1	324.4209559	389.3207199
	34	13.978	14.46	0.9667	1	256.9485294	308.3505693
	41	16.8667	23	0.7333	1	310.0496324	372.0744418
	42	20	25	0.8	1	367.6470588	441.1941184
	46	5.775	16.5	0.35	1	106.1580882	127.3948017
	52	47.2367	22.22	2.05	2	868.3216912	1042.027711
	56	19.71	21.9	0.9	1	362.3161765	434.7968036
	58	16.575	19.5	0.85	1	304.6875	365.6396256
	62	13.5	15	0.9	1	248.1617647	297.8060299
	68	39.165	19.9	2.4	1	719.9448529	863.9683823
	69	90.7207	23.78	3.7333	1	1667.659926	2001.271963
	72	12.75	15	0.85	1	234.375	281.2612505
	75	18.335	19.3	0.95	1	337.0404412	404.464708
	81	17.6	9.6	1.7333	1	323.5294118	388.2508242
	88	15.8433	19.4	0.8167	1	291.2371324	349.4985388
	94	17.3333	20	0.8667	1	318.6268382	382.3675006
	101	20	30	0.6667	1	367.6470588	441.1941184
	104	19.32	20.7	0.9333	1	355.1470588	426.1935183
	115	11.3733	17.06	0.6667	1	209.0680147	250.8916533
	119	13.4225	13.65	0.9833	1	246.7371324	296.0964027
	121	14.0933	15.1	0.9333	1	259.0680147	310.8940534
	125	4.155	27.7	0.15	1	76.37867647	91.65807809
	131	13	15	0.8667	1	238.9705882	286.7761769
	133	13.9207	21.98	0.6333	1	255.8952206	307.0865482
	144	18.75	22.5	0.8333	1	344.6691176	413.619486
	148	21.636	24.04	0.9	1	397.7205882	477.2837972
	151	11.6667	20	0.5833	1	214.4613971	257.363971
	154	12.8435	15.11	0.85	1	236.09375	283.323833
	155	19.228	20.24	0.95	1	353.4558824	424.1640254
	156	11.5	11.5	1	1	211.3970588	253.6866181
158	14.6667	8.5	1.7333	1	269.6084559	323.5430888	
160	11.1	26.64	0.4167	1	204.0441176	244.8627357	
161	43.8997	24.2	1.8167	2	806.9797794	968.4144719	
163	19.7072	22.31	0.8833	1	362.2647059	434.7350365	
172	12.28	15.35	0.8	1	225.7352941	270.8931887	
173	21.8833	15.5	1.4167	2	402.2665441	482.7391625	
181	14.4	18	0.8	1	264.7058824	317.6597652	
190	14.6667	22	0.6667	1	269.6084559	323.5430888	
191	12.665	14.9	0.85	1	232.8125	279.3861754	
192	11.0833	19	0.5833	1	203.7371324	244.4943386	
194	21.7438	19.735	1.1	1	399.7022059	479.6618335	
196	27.8608	24.95	1.1167	1	512.1470588	614.6010546	
197	12.2917	14.75	0.8333	1	225.9503676	271.1512872	
202	15.0167	17	0.8833	1	276.0422794	331.2639859	
212	21.6493	24.98	0.8667	1	397.9650735	477.5771913	
220	9.75	11.7	0.8333	1	179.2279412	215.0821327	
222	16.15	19	0.85	1	296.875	356.2642506	
227	16.2933	18.8	0.8667	1	299.5091912	359.4254064	
248	19.2	19.2	1	1	352.9411765	423.5463536	
250	24.15	21	1.15	1	443.9338235	532.7418979	
285	19.907	23.42	0.85	1	365.9375	439.1425657	
311	9.2433	9.4	0.9833	1	169.9136029	203.9044797	
315	21.6493	24.98	0.8667	1	397.9650735	477.5771913	
330	40.12	13.56	3.6667	1	737.5	885.0354014	
365	85.3333	17	5.2667	1	1568.626838	1882.427503	
366	11.0985	13.59	0.8167	1	204.0165441	244.8296461	

Tabla 8
Energía Almacenable con Hidrógeno COHESA

COHESA							
Tipo de incidencia	Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias	kgH2 Generado	m ³ H2
Incidencia 3	59	39.1067	22.45	1.75	1	718.8731618	862.6823014
	67	33.5053	19.34	1.7167	2	615.90625	739.1170647
	70	37.6667	20	1.8833	2	692.4025735	830.9163249
	71	18.3333	20	0.9167	1	337.0091912	404.4272065
	98	16.569	18.41	0.9	1	304.5772059	365.5072673
	112	15.37	17.4	0.8833	1	282.5367647	339.05768
	128	15.2733	15.8	0.9667	1	280.7591912	336.9245064
	194	21.7438	19.735	1.1	1	399.7022059	479.6618335
Incidencia 4	8	22.9	22.9	1	1	420.9558824	505.1672655
	9	0	0	0.8167	1	0	0
	15	17.6667	20	0.8833	1	324.7555147	389.7222065
	49	20.9917	22.9	0.9167	1	385.8768382	463.0707287
	185	14.32	17.9	0.8	1	263.2352941	315.8949887
Incidencia 5	14	17.3133	19.6	0.8833	1	318.2591912	381.9263065
	45	12.4667	14.96	0.8333	1	229.1672794	275.0117358
	47	17.6667	20	0.8833	1	324.7555147	389.7222065
	54	14	15	0.9333	1	257.3529412	308.8358828
	60	1.75	24.79	0.7667	1	32.16911765	38.60448536
	79	22.6667	20	1.1333	1	416.6672794	500.0207361
Incidencia 8	307	14.6667	20	0.7333	1	269.6084559	323.5430888
Incidencia 9	1	13.5	15	0.9	1	248.1617647	297.8060299
	19	29.1433	24.98	1.1667	1	535.7224265	642.8926275
	26	18.2035	22.29	0.8167	1	334.6231618	401.5638567
	33	23.6	24	0.9833	1	433.8235294	520.6090597
	59	39.1067	22.45	1.75	1	718.8731618	862.6823014
	61	23.205	27.3	0.85	1	426.5625	511.8954758
	68	39.165	19.9	2.4	1	719.9448529	863.9683823
	69	90.7207	23.78	3.7333	1	1667.659926	2001.271963
	76	58.5717	25.6833	2.2833	1	1076.685662	1292.074477
	77	15.6667	20	0.7833	1	287.9908088	345.6027947
	78	14.6667	20	0.7333	1	269.6084559	323.5430888
	80	11.9167	11	1.0833	1	219.0569853	262.8788975
	81	17.6	9.6	1.7333	1	323.5294118	388.2508242
	82	18.06	18.06	1	1	331.9852941	398.3982889
	83	23.6	24	0.9833	1	433.8235294	520.6090597
	84	16.235	19.1	0.85	1	298.4375	358.1393256
	89	11.35	22.7	0.5	1	208.6397059	250.3776622
	96	21.4667	23	0.9333	1	394.6084559	473.549089
	123	13.0533	17.8	0.7333	1	239.9503676	287.9519593
	130	10.8167	11	0.9833	1	198.8363971	238.613221
	132	16.6653	17.24	0.9667	1	306.3474265	367.631617
	137	13.5667	14.8	0.9167	1	249.3878676	299.2774123
	139	14.2167	17.06	0.8333	1	261.3363971	313.6162211
158	14.6667	8.5	1.7333	1	269.6084559	323.5430888	
223	17.6667	21.2	0.8333	1	324.7555147	389.7222065	
306	13.128	16.41	0.8	1	241.3235294	289.5998193	
363	139.5833	25	5.5833	1	2565.869485	3079.166549	
40	34.7167	19.5	1.7833	2	638.1746324	765.8401924	
362	51.0232	7.5867	7.1167	3	937.9264706	1125.556787	
Incidencia 10	287	13.86	19.8	0.7	1	254.7794118	305.747524
Total		2467.1902		134.6162	120	45352.76103	509581.5846

Fuente: Elaboración propia

4.5. Cronograma de Actividades

Cronograma	Enero													
	Semana 1							Semana 2						
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Actividad	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
Reuniones														
Recopilación de Información														
Sistematización de la Información														
POA's de los Generadores														
Investigación de potencial anual														
Calculo de Energía no entregada														
Investigación de electrolizadores disponibles														
Cantidad de hidrógeno que se pudo Producir														
Cantidad de Energía almacenable														
LCOE de la energía almacenada														
Análisis de FlexTool														
Informe de Graduación														
Avances														
Redacción de Metodología														
Resultados y Análisis														
Redacción de Conclusiones														
Revisión de Estructura de Informe														

	Trabajo
	Entrega
	Avance

Ilustración 17
Cronograma de enero

Cronograma	Febrero																												
	Semana 3							Semana 4							Semana 5							Semana 6							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Actividad	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	
Reuniones																													
Recopilación de Información	Avance	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega																					
Sistematización de la Información	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega															
POA's de los Generadores	Entrega																												
Investigación de potencial anual								Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega														
Calculo de Energía no entregada															Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega								
Investigación de electrolizadores disponibles								Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega															
Cantidad de hidrógeno que se pudo Producir															Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega								
Cantidad de Energía almacenable																													
LCOE de la energía almacenada																						Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega				
Análisis de FlexTool																						Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega		
Informe de Graduación																													
Avances																													
Redacción de Metodología																													
Resultados y Análisis															Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo	Entrega								
Redacción de Conclusiones																						Trabajo	Trabajo	Trabajo	Trabajo				
Revisión de Estructura de Informe																													

Trabajo
Entrega
Avance

Ilustración 18
Cronograma de febrero

Cronograma	Marzo																												
	Semana 7							Semana 8							Semana 9							Semana 10							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Actividad	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	
Reuniones																													
Recopilación de Información																													
Sistematización de la Información																													
POA's de los Generadores																													
Investigación de potencial anual																													
Calculo de Energía no entregada																													
Investigación de electrolizadores disponibles																													
Cantidad de hidrógeno que se pudo Producir																													
Cantidad de Energía almacenable																													
LCOE de la energía almacenada																													
Análisis de FlexTool																													
Informe de Graduación																													
Avances																													
Redacción de Metodología																													
Resultados y Análisis																													
Redacción de Conclusiones																													
Revisión de Estructura de Informe																													

	Trabajo
	Entrega
	Avance

Ilustración 19
Cronograma de Marzo

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. Energía Vertida:

Habiendo tomado y tabulado los datos de la ODS sobre la energía limitada de las plantas de energía renovable, se encontró que ambas plantas representativas escogidas vertieron cantidades considerables de energía en el año 2019. Se tomaron en consideración sólo las causas limitación de producción energética que no afectan de manera directa a la potencia disponible de la planta.

5.1.1. Energía Vertida por Cerro de Hula

Tabla 9
Energía Vertida por Cerro de Hula

Mes	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias	kgH2 Generado	m ³ H2	Energía de Hidrógeno (MWh)
Enero	9.5	10	0.95	1	174.6323529	1962.161269	6.08
febrero	41.35	27	1.7166	2	760.1102941	8540.565102	26.464
marzo	604.1691	33	22.8334	15	11106.04963	124787.0745	386.668224
abril	11.3333	20	0.5667	1	208.3327206	2340.817085	7.253312
Mayo	65.1743	30	3.2667	4	1198.056985	13461.31444	41.711552
Junio	151.4767	33	5.6499	9	2784.498162	31286.4962	96.945088
Julio	237.031	34	9.1833	9	4357.1875	48957.16292	151.69984
Agosto	132.9442	38	5.3833	7	2443.827206	27458.73265	85.084288
Septiembre	0	0	0	0	0	0	0
Octubre	35.2623	13	2.7167	1	648.2040441	7283.191507	22.567872
Noviembre	488.276	36	12.8667	2	8975.661765	100850.1322	312.49664
Diciembre	1990.2084	56	37.1667	4	36584.71324	411064.1937	1273.733376
Total	3766.7253	56	102.3	55	69241.2739	777991.8415	2410.704192

Fuente: Elaboración Propia

La planta eólica Cerro de Hula vertió un total de 3,766.7253 MWh en el año 2019 debido a razones ajenas al estado de la planta. La potencia limitada máxima fue de 56 MW, y el tiempo total de limitación en el 2019 fue de 102.3 horas con 55 incidencias.

Utilizando el valor de producción de hidrógeno del electrolizador escogido, se pudieron haber producido 69,241.2739 kg de hidrógeno, con una eficiencia de 80% de electrolizador (64% de eficiencia global), se pudieron haber almacenado y aprovechado 2,410.704192 kWh de energía eólica en el 2019.

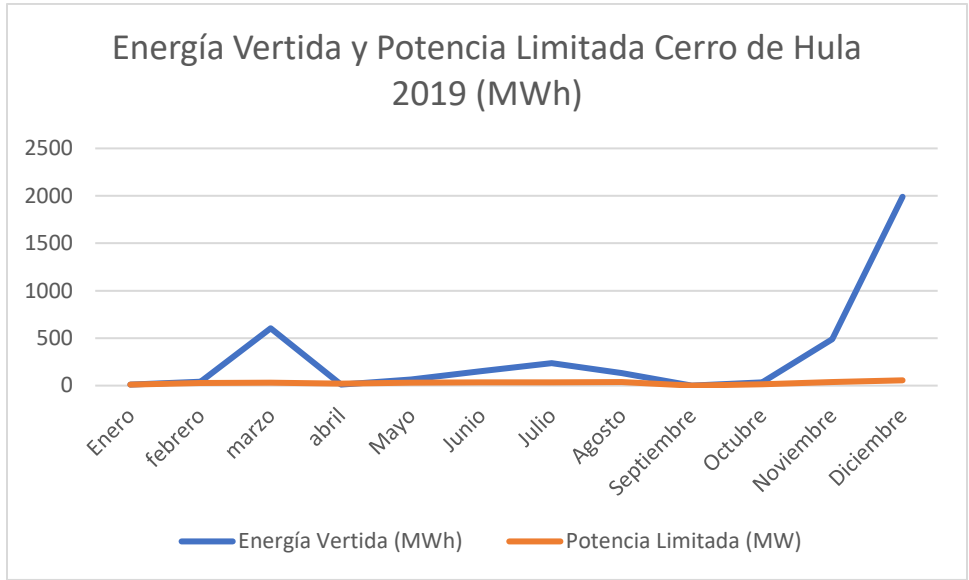


Ilustración 20
Energía Vertida y Potencia Limitada Cerro de Hula 2019

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 21
Tiempo (h) Cerro de Hula 2019

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 22
Incidencias Cerro de Hula 2019

Fuente: Elaboración propia

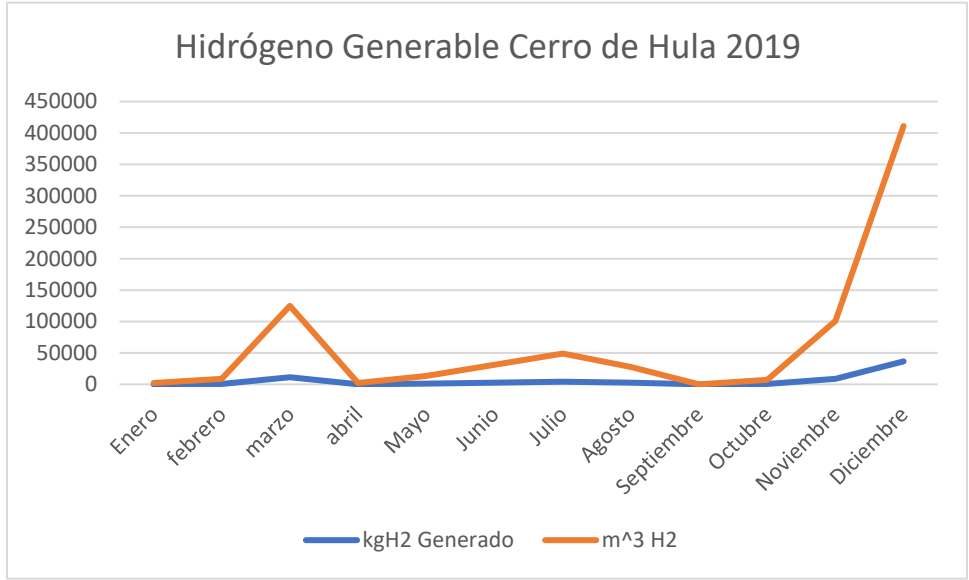


Ilustración 23
Hidrógeno Generable Cerro de Hula 2019

Fuente: Elaboración propia

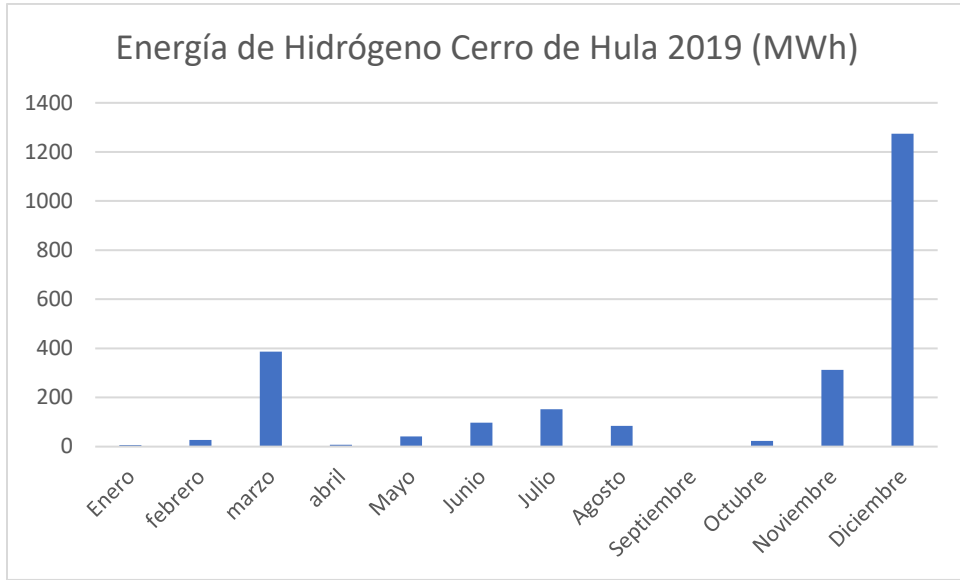


Ilustración 24
Energía de Hidrógeno Cerro de Hula 2019

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Energía Vertida por COHESSA

Tabla 10
Energía Vertida COHESSA 2019

Mes	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias	kgH2 Generado	m ³ H2	Energía de Hidrógeno (MWh)
Enero	255.0928	29	12.15	14	4689.205882	5627.27215	163.259392
febrero	343.5466	47	17.2499	18	6315.194853	7578.53697	219.869824
marzo	660.8435	91	33.9664	25	12147.85846	14578.0133	422.93984
abril	148.9481	21	7.7666	9	2738.016544	3285.75128	95.326784
Mayo	166.7204	22	9.3666	12	3064.713235	3677.80299	106.701056
Junio	196.1751	44	12.4	13	3606.159926	4327.56501	125.552064
Julio	173.0411	28	8.8	10	3180.902574	3817.23578	110.746304
Agosto	59.86	18	3.3833	4	1100.367647	1320.494	38.3104
Septiembre	43.35	24	2.15	2	796.875	956.288252	27.744
Octubre	33.767	20	2.35	3	862.0404412	1034.48991	21.61088
Noviembre	98.8073	40	6.25	4	1574.987132	1890.06016	63.236672
Diciembre	287.0383	140	18.7834	6	5276.439338	6331.98049	183.704512
Total	2467.1902	140	134.6162	120	45352.76103	54425.4903	1579.001728

Fuente: Elaboración propia

La planta solar COHESSA vertió 2467.1902 MWh en el 2019 por razones ajenas al estado de la planta. La potencia máxima limitada en el 2019 fue 140 MW. El tiempo total de limitación de la planta solar fue de 134.6162 horas, con 120 incidencias.

Con esta cantidad de energía, y utilizando los datos de fabricante del electrolizador escogido, se pueden producir 45,352.76103 kg de hidrógeno, lo cual significa que se pudieron haber almacenado y entregado 1579.0017 kWh en el 2019.

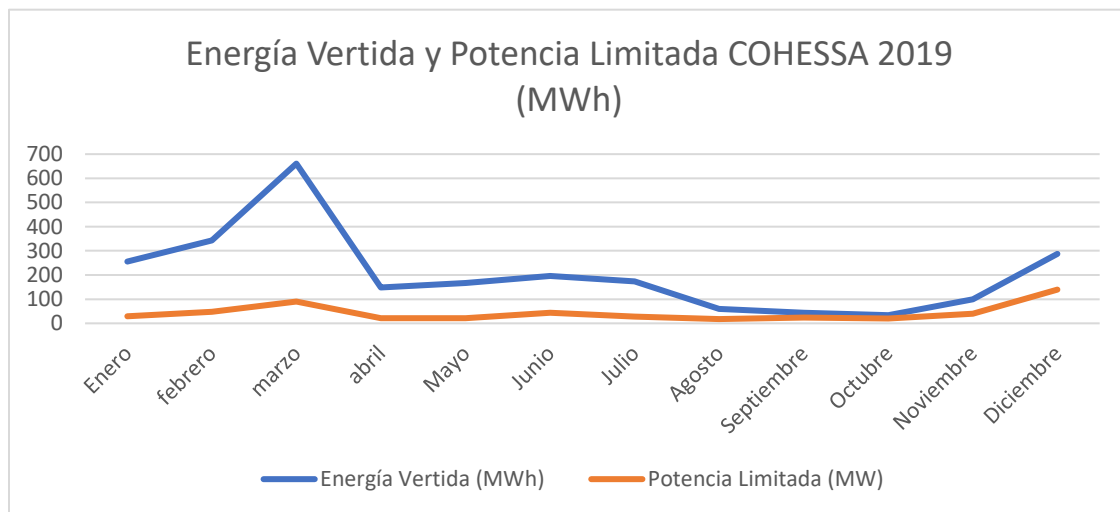


Ilustración 25
Energía Vertida y Potencia Limitada COHESSA 2019

Fuente: Elaboración Propia

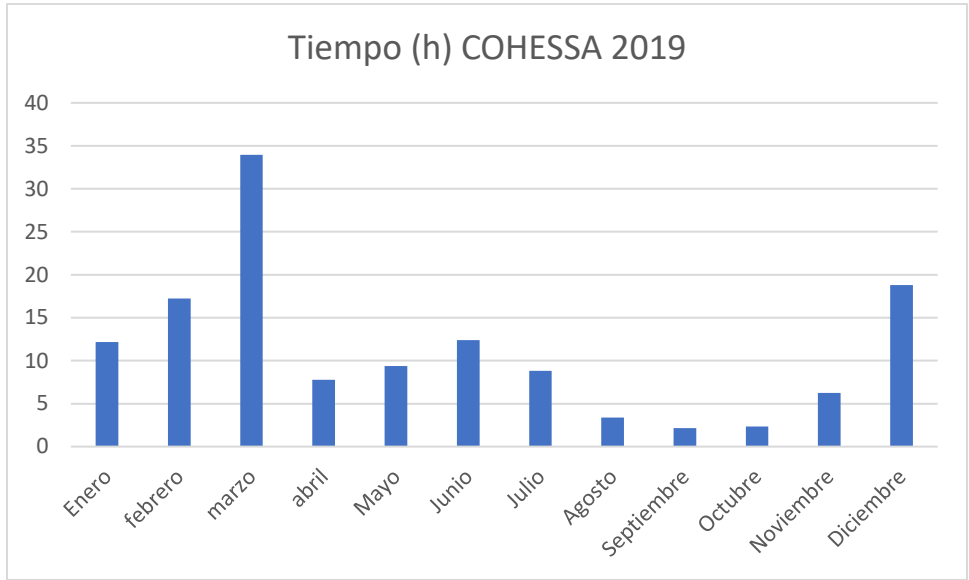


Ilustración 26
Tiempo (h) COHESA 2019

Fuente: Elaboración Propia

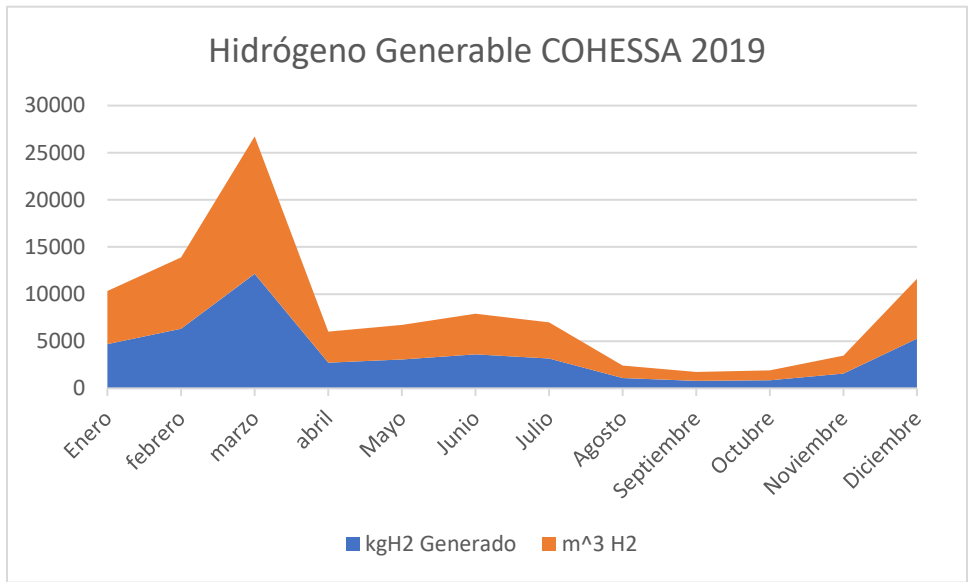


Ilustración 27
Hidrógeno Generable COHESA 2019

Fuente: Elaboración Propia

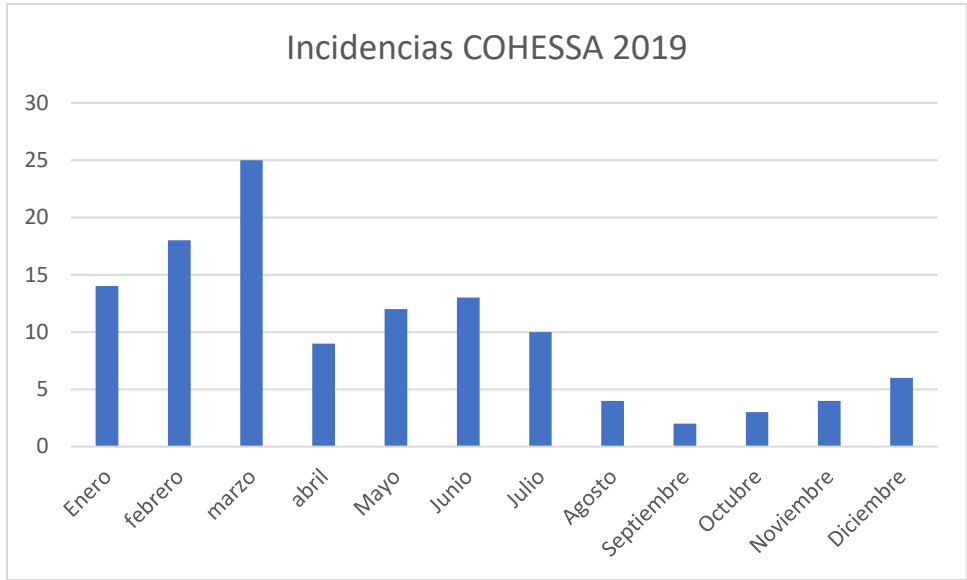


Ilustración 28
Incidencias COHESSA 2019

Fuente: Elaboración Propia

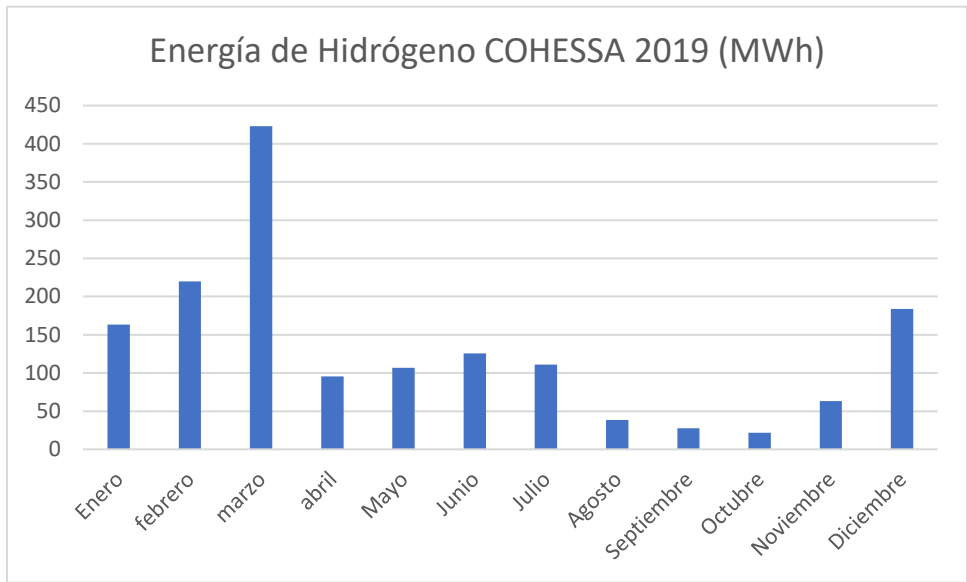


Ilustración 29
Energía de Hidrógeno COHESSA 2019

Fuente: Elaboración Propia

Si esta energía se hubiese vendido al mismo precio de la renovable de la que originó, esto significaría grandes ingresos para ambas plantas. Sin embargo, es necesario analizar la situación legal de los contratos de venta entre la ENEE y los generadores privados.

5.2. Valor de la Energía no generada:

Tabla 11
Ingresos por Venta de Energía de Hidrógeno a mismo precio de los PPAs

Ingresos por venta de energía		
Mes	Cerro de Hula	COHESSA
Enero	\$ 644.48	\$ 25,215.41
Febrero	\$ 2,805.18	\$ 33,958.89
Marzo	\$ 40,986.83	\$ 65,323.06
Abril	\$ 768.85	\$ 14,723.22
Mayo	\$ 4,421.42	\$ 16,479.98
Junio	\$ 10,276.18	\$ 19,391.52
Julio	\$ 16,080.18	\$ 17,104.77
Agosto	\$ 9,018.93	\$ 5,917.04
Septiembre	\$ -	\$ 4,285.06
Octubre	\$ 2,392.19	\$ 3,337.80
Noviembre	\$ 33,124.64	\$ 9,766.90
Diciembre	\$ 135,015.74	\$ 28,373.16
Total	\$ 255,534.64	\$ 243,876.82

Fuente: Elaboración propia

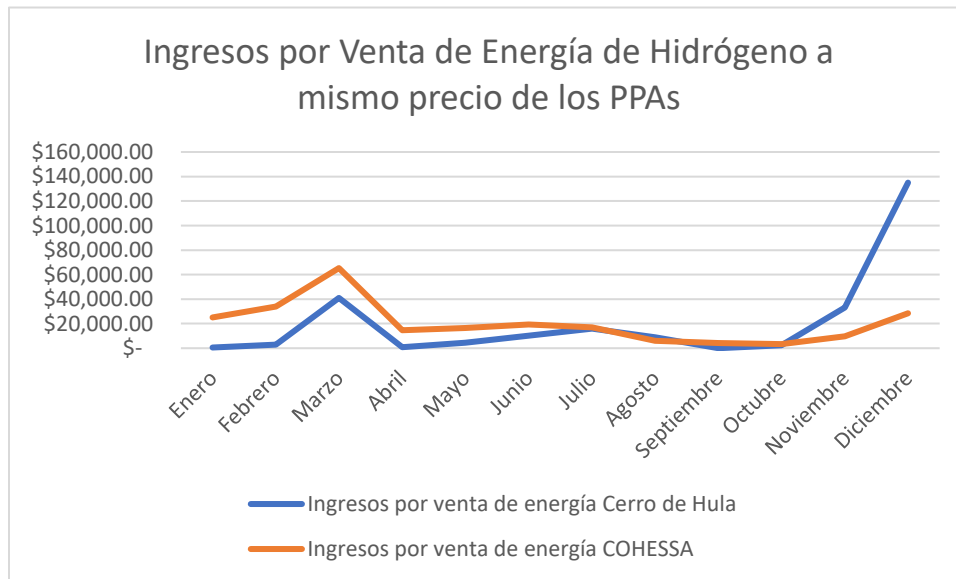


Ilustración 30
Ingresos por Venta de Energía de Hidrógeno a mismo precio de los PPAs

Fuente: Elaboración Propia

Las empresas que no pudieron entregar la energía limitada en el año 2019, Cerro de Hula y COHESSA hubiesen generado \$255,534.64 y \$243,876.82 respectivamente.

5.3. Cálculo del Préstamo para la Inversión

Suponiendo un préstamo para cubrir el 100% de la inversión necesaria, con un plazo de 10 años e intereses anuales de 5%, se calcularon los pagos anuales para incluir en los flujos de caja. El total del préstamo se tomó de los costos que se asumieron anteriormente para cada planta.

5.3.1. Préstamo Cerro de Hula

Tabla 12
Suposiciones Tomadas para Préstamo Cerro de Hula

Monto préstamo	\$ 1,608,014.88
Intereses mensuales	5%
Períodos anuales	10
Cuota Fija anual	\$ -208,245.28

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13
Pago de Préstamo Cerro de Hula

Pago préstamo Cerro de Hula					
Período	Saldo Inicial	Cuota Fija	Intereses	Abono	Saldo final
0					\$ 1,608,014.88
1	\$ 1,608,014.88	\$ 208,245.28	\$ 80,400.74	\$ 127,844.54	\$ 1,480,170.34
2	\$ 1,480,170.34	\$ 208,245.28	\$ 74,008.52	\$ 134,236.77	\$ 1,345,933.57
3	\$ 1,345,933.57	\$ 208,245.28	\$ 67,296.68	\$ 140,948.60	\$ 1,204,984.97
4	\$ 1,204,984.97	\$ 208,245.28	\$ 60,249.25	\$ 147,996.04	\$ 1,056,988.93
5	\$ 1,056,988.93	\$ 208,245.28	\$ 52,849.45	\$ 155,395.84	\$ 901,593.10
6	\$ 901,593.10	\$ 208,245.28	\$ 45,079.65	\$ 163,165.63	\$ 738,427.47
7	\$ 738,427.47	\$ 208,245.28	\$ 36,921.37	\$ 171,323.91	\$ 567,103.56
8	\$ 567,103.56	\$ 208,245.28	\$ 28,355.18	\$ 179,890.11	\$ 387,213.45
9	\$ 387,213.45	\$ 208,245.28	\$ 19,360.67	\$ 188,884.61	\$ 198,328.84
10	\$ 198,328.84	\$ 208,245.28	\$ 9,916.44	\$ 198,328.84	\$ 0.00

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2. Préstamo COHESSA

Tabla 14
Suposiciones Tomadas para Préstamo COHESSA

Monto préstamo	\$ 413,084.90
Intereses Anuales	5%
Períodos anuales	10
Cuota Fija anual	\$ -53,496.38

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15
Pago de Préstamo COHESSA

Pago Préstamo COHESSA					
Período	Saldo Inicial	Cuota Fija	Intereses	Abono	Saldo final
0					\$ 413,084.90
1	\$ 413,084.90	\$ 53,496.38	\$ 20,654.24	\$ 32,842.14	\$ 380,242.76
2	\$ 380,242.76	\$ 53,496.38	\$ 19,012.14	\$ 34,484.25	\$ 345,758.51
3	\$ 345,758.51	\$ 53,496.38	\$ 17,287.93	\$ 36,208.46	\$ 309,550.05
4	\$ 309,550.05	\$ 53,496.38	\$ 15,477.50	\$ 38,018.88	\$ 271,531.17
5	\$ 271,531.17	\$ 53,496.38	\$ 13,576.56	\$ 39,919.83	\$ 231,611.35
6	\$ 231,611.35	\$ 53,496.38	\$ 11,580.57	\$ 41,915.82	\$ 189,695.53
7	\$ 189,695.53	\$ 53,496.38	\$ 9,484.78	\$ 44,011.61	\$ 145,683.92
8	\$ 145,683.92	\$ 53,496.38	\$ 7,284.20	\$ 46,212.19	\$ 99,471.73
9	\$ 99,471.73	\$ 53,496.38	\$ 4,973.59	\$ 48,522.80	\$ 50,948.94
10	\$ 50,948.94	\$ 53,496.38	\$ 2,547.45	\$ 50,948.94	\$ 0.00

Fuente: Elaboración Propia

5.4. Flujo de Caja

Para calcular el flujo de caja, se tomaron los valores inversión de capital, como el pago del préstamo para cada año. Los valores de operación y mantenimiento anual se tomaron como el 2% del valor del préstamo total. Los ingresos por venta de energía se tomaron como el LCOE por el total de energía generada por año.

5.4.1. Flujo de Caja Cerro de Hula

Tabla 16
Flujo de Caja Cerro de Hula

Flujo de caja											
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPEX	\$ -	\$ -288,646.03	\$ -282,253.80	\$ -275,541.96	\$ -268,494.53	\$ -261,094.73	\$ -253,324.94	\$ -245,166.66	\$ -236,600.46	\$ -227,605.96	\$ -218,161.73
OPEX		\$ -35,733.66	\$ -35,733.66	\$ -35,733.66	\$ -35,733.66	\$ -35,733.66	\$ -35,733.66	\$ -35,733.66	\$ -35,733.66	\$ -35,733.66	\$ -35,733.66
Compra de electricidad		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ingresos		\$ 339,115.02	\$ 339,115.02	\$ 339,115.02	\$ 339,115.02	\$ 339,115.02	\$ 339,115.02	\$ 339,115.02	\$ 339,115.02	\$ 339,115.02	\$ 339,115.02
Ingreso neto (antes de impuestos)	\$ -178,668.32	\$ 14,735.33	\$ 21,127.56	\$ 27,839.39	\$ 34,886.83	\$ 42,286.63	\$ 50,056.42	\$ 58,214.70	\$ 66,780.90	\$ 75,775.40	\$ 85,219.63

Fuente: Elaboración Propia

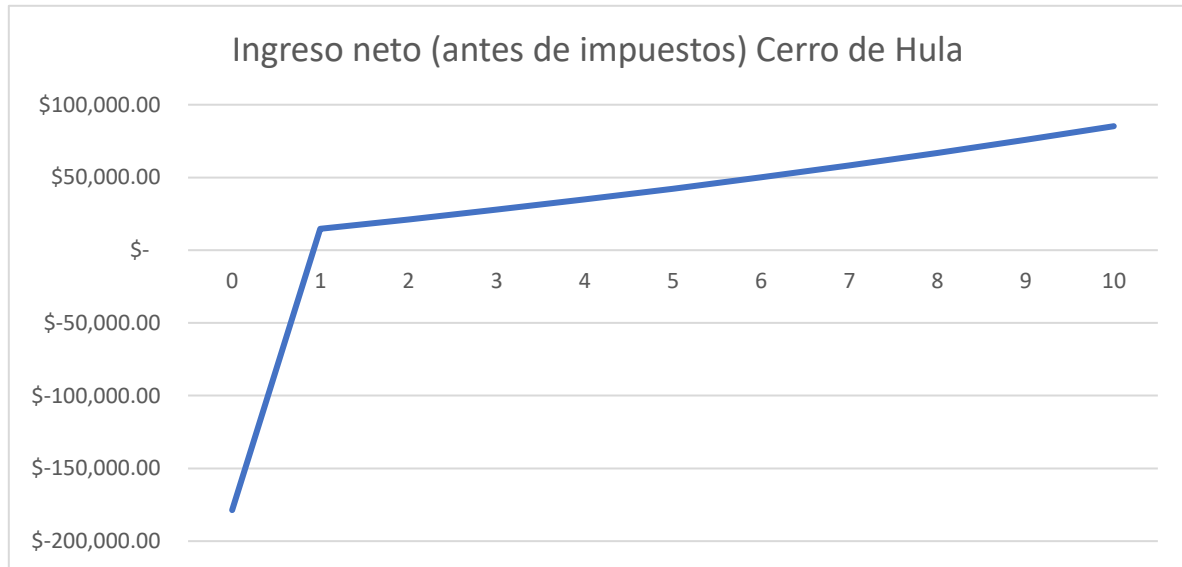


Ilustración 31
Ingreso neto (antes de impuestos) Cerro de Hula

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17
TIR y Valor Presente de la Inversión

Tasa interna de retorno (TIR)	17%
Valor presente	\$57,298.81

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2. Flujo de Caja COHESSA

Tabla 18
Flujo de Caja COHESSA

Flujo de caja											
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPEX	\$ -	\$ -74,150.63	\$ -72,508.52	\$ -70,784.31	\$ -68,973.89	\$ -67,072.94	\$ -65,076.95	\$ -62,981.16	\$ -60,780.58	\$ -58,469.97	\$ -56,043.83
OPEX		\$ -9,179.66	\$ -9,179.66	\$ -9,179.66	\$ -9,179.66	\$ -9,179.66	\$ -9,179.66	\$ -9,179.66	\$ -9,179.66	\$ -9,179.66	\$ -9,179.66
Compra de electricidad		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ingresos		\$ 87,115.67	\$ 87,115.67	\$ 87,115.67	\$ 87,115.67	\$ 87,115.67	\$ 87,115.67	\$ 87,115.67	\$ 87,115.67	\$ 87,115.67	\$ 87,115.67
Ingreso neto (antes de impuestos)	\$ -45,898.32	\$ 3,785.38	\$ 5,427.48	\$ 7,151.70	\$ 8,962.12	\$ 10,863.06	\$ 12,859.05	\$ 14,954.85	\$ 17,155.43	\$ 19,466.03	\$ 21,892.17

Fuente: Elaboración Propia

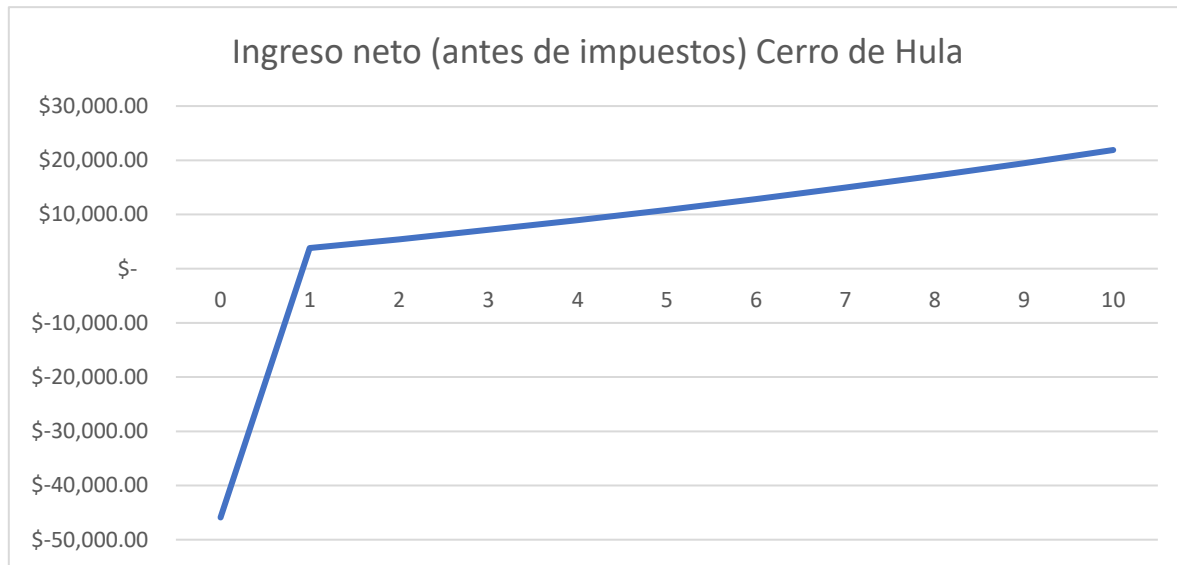


Ilustración 32
Ingreso neto (antes de impuestos) Cerro de Hula

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19
TIR y Valor Presente de la Inversión

Tasa interna de retorno (TIR)	17%
Valor presente	\$14,719.56

5.5. Cálculo del LCOE

Para realizar el cálculo del LCOE se tomaron los datos calculados anteriormente, la cantidad de energía de hidrógeno que se puede aprovechar para cada caso, la vida útil de los electrolizadores y su eficiencia, y el costo de la inversión inicial. El costo de la inversión inicial se tomó como los costos asumidos anteriormente para cada planta.

5.5.1. Costos Asumidos

Los costos que se asumieron que se deben tomar para adaptación de las plantas seleccionadas para poder generar energía de hidrógeno, fueron tomados de un análisis realizado por la Universidad de Sevilla para una planta de generación eólica. Se usaron las capacidades de generación de hidrógeno de cada planta para encontrar, de manera proporcional, el costo de los componentes. Adicionalmente, la planta de COHESA no necesitaría de un rectificador de corriente.

Tabla 20
Costos Necesarios Cerro de Hula

Inversiones Necesarias Cerro de Hula			
Descripción	Unidades	Precio	Precio total
Sistema de Control de Potencia (rectificadores)	1	\$ 42,614.32	\$ 42,614.32
Depósitos de Agua	1	\$ 30,582.64	\$ 30,582.64
Sistema de Bombeo de Agua	1	\$ 7,665.62	\$ 7,665.62
Sistema de Filtración de Agua	1	\$ 12,604.84	\$ 12,604.84
Electrolizadores	1	\$ 1,242,677.95	\$ 1,242,677.95
Instalaciones para bombeo del Electrolito	1	\$ 9,940.40	\$ 9,940.40
Catalizadores para purificar el Hidrógeno y el Oxígeno.	1	\$ 57,194.85	\$ 57,194.85
Instalaciones de Secado y Almacenamiento del Hidrógeno.	1	\$ 9,940.40	\$ 9,940.40
Instalaciones de compresión de hidrógeno	1	\$ 92,950.27	\$ 92,950.27
Instalaciones de almacenamiento y distribución de Hidrógeno a alta presión.	1	\$ 101,770.56	\$ 101,770.56
Instalaciones accesorias y otros.	1	\$ 178,741.35	\$ 178,741.35
Total		\$ 1,786,683.20	\$ 1,786,683.20

Fuente: (Departamento de Física Aplicada, Universidad de Sevilla, s.f.)

Tabla 21
Costos Necesarios COHESA

Inversiones Necesarias COHESA			
Descripción	Unidades	Precio	Precio total
Depósitos de Agua	1	\$ 8,048.37	\$ 8,048.37
Sistema de Bombeo de Agua	1	\$ 2,017.35	\$ 2,017.35
Sistema de Filtración de Agua	1	\$ 3,317.19	\$ 3,317.19
Electrolizadores	1	\$ 327,033.14	\$ 327,033.14
Instalaciones para bombeo del Electrolito	1	\$ 2,616.00	\$ 2,616.00
Catalizadores para purificar el Hidrógeno y el Oxígeno.	1	\$ 15,051.86	\$ 15,051.86
Instalaciones de Secado y Almacenamiento del Hidrógeno.	1	\$ 2,616.00	\$ 2,616.00
Instalaciones de compresión de hidrógeno	1	\$ 24,461.54	\$ 24,461.54
Instalaciones de almacenamiento y distribución de Hidrógeno a alta presión.	1	\$ 26,782.76	\$ 26,782.76
Instalaciones accesorias y otros.	1	\$ 47,039.01	\$ 47,039.01
Total		\$ 458,983.22	\$ 458,983.22

Fuente: (Departamento de Física Aplicada, Universidad de Sevilla, s.f.)

5.5.2. LCOE del Cerro de Hula

Tabla 22
Suposiciones Tomadas para Cerro de Hula

Electricidad anual producida	2,410,704 kWh
Costo de inversión	1,786,683.20 US\$
Costo de operación y mantenimiento (O&M)	2.0%
Período de estudio	10 años
Tasa de descuento	11.0%
Precio de compra de electricidad	0.00 US\$/kWh
Eficiencia global	64.0%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23
Costos y energía generada Cerro de Hula

Cálculo de costos y Energía Cerro de Hula											
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo de inversión (US\$)	1786683.2										
Costo O&M anual (US\$)		35733.664	35733.664	35733.664	35733.664	35733.664	35733.664	35733.664	35733.664	35733.664	35733.664
Costo O&M descontado (US\$)	210443.8379	32192.4901	29002.2433	26128.1471	23538.8713	21206.1904	19104.676	17211.4198	15505.7836	13969.1744	12584.8418
Energía anual (kWh)		2410704.19	2410704.19	2410704.19	2410704.19	2410704.19	2410704.19	2410704.19	2410704.19	2410704.19	2410704.19
Energía anual descontada (kWh)	14197196.3	2171805.58	1956581.6	1762686.13	1588005.52	1430635.6	1288860.9	1161135.95	1046068.42	942403.985	849012.599

Fuente: Elaboración Propia

Utilizando la fórmula descrita en la metodología de estudio, se calculó el LCOE de la energía de hidrógeno de la granja eólica Cerro de Hula.

Tabla 24
LCOE del Cerro de Hula

LCOE (US\$/kWh)	0.141
LCOE (US\$/MWh)	141

Fuente: Elaboración Propia

5.5.3. LCOE de COHESSA

Tabla 25
Suposiciones tomadas para COHESSA

Electricidad anual producida	1,579,002 kWh
Costo de inversión	458,983.22 US\$
Costo de operación y mantenimiento (O&M)	2.0%
Período de estudio	10 años
Tasa de descuento	11.0%
Precio de compra de electricidad	0.00 US\$/kWh
Eficiencia global	64.0%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26
Costos y Energía Generada COHESSA

Cálculo de costos y Energía COHESSA											
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo de inversión (US\$)	458983.2177										
Costo O&M anual (US\$)		9179.66435	9179.66435	9179.66435	9179.66435	9179.66435	9179.66435	9179.66435	9179.66435	9179.66435	9179.66435
Costo O&M descontado(US\$)	54061.17316	8269.96789	7450.42152	6712.09146	6046.92924	5447.684	4907.82342	4421.46254	3983.29959	3588.55819	3232.93531
Energía anual (kWh)		1579001.73	1579001.73	1579001.73	1579001.73	1579001.73	1579001.73	1579001.73	1579001.73	1579001.73	1579001.73
Energía anual descontada (kWh)	9299107.522	1422524.08	1281553.22	1154552.45	1040137.35	937060.672	844198.804	760539.463	685170.687	617270.89	556099.901

Fuente: Elaboración Propia

Igualmente, se calculó el LCOE para la energía de hidrógeno almacenada y aprovechable para la granja solar COHESSA.

Tabla 27
LCOE COHESSA

LCOE (US\$/kWh)	0.055
LCOE (US\$/MWh)	55

Fuente: Elaboración Propia

5.5.4. Análisis

El LCOE para el Cerro de Hula, resulta por encima del promedio de la tecnología de generación utilizada, mientras que la de COHESSA resulta por debajo. El LCOE para ambas tecnologías en el 2019 fueron \$67.24/MWh para la generación solar y \$53/MWh para la generación eólica. Casi el doble para ambas tecnologías (IRENA, 2020). Los LCOEs que se encontraron según el análisis realizado fueron de \$141/MWh para el Caso del Cerro de Hula y de \$55/MWh para COHESSA.

5.6. H2A Hydrogen

5.6.1. Cerro de Hula

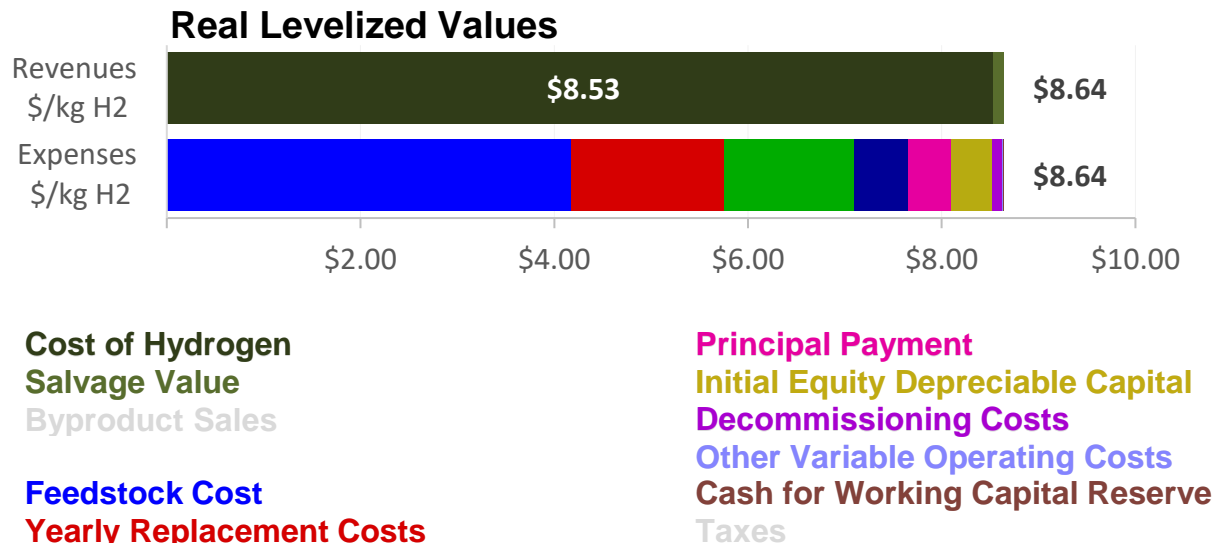


Ilustración 33
Valor Nivelizado del Hidrógeno Producido Cerro de Hula

Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados son el costo en dólares por cada kilogramo de hidrógeno producido por la planta propuesta. Si utilizamos las características de nuestro electrolizador (54.4 kWh/kgH₂) para encontrar el LCEO en \$/MWh, encontramos que es \$156.8/MWh.

El gráfico tornado, representa la variabilidad del precio del hidrógeno producido según un cambio porcentual en diferentes categorías. Se puede ver que el cambio más grande para disminuir el precio del hidrógeno producido es la capacidad de producción de la planta. Esto se puede explicar ya que los electrolizadores escogidos para realizar la simulación son de una mayor capacidad de la que son necesarias, por lo que utilizando unos de menor capacidad, bajaría el precio del hidrógeno producido. Otro punto a notar es que el precio del hidrógeno es altamente dependiente al factor de planta según el modelo de simulación H2A.

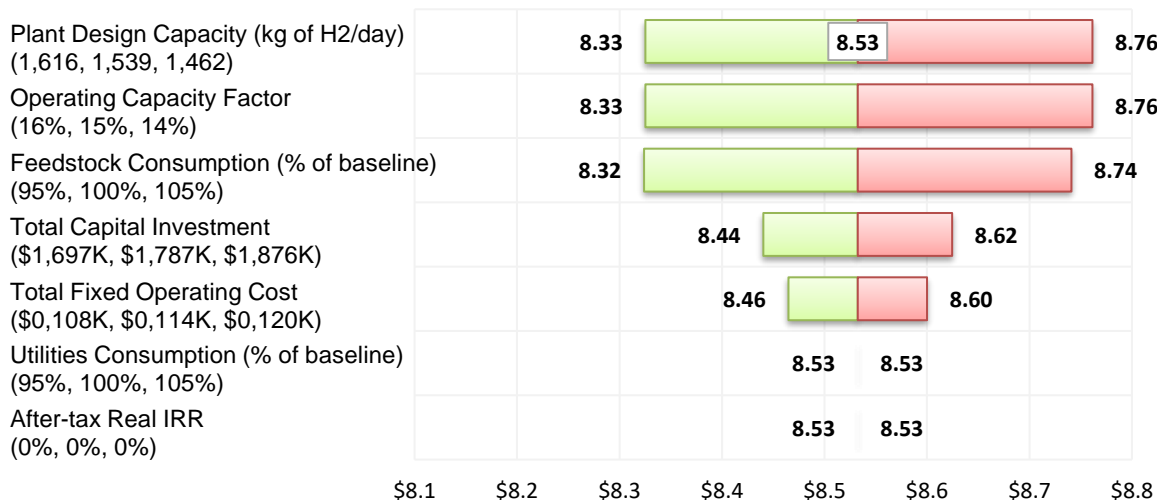


Ilustración 34
Variabilidad del Proyecto

Fuente: Elaboración Propia

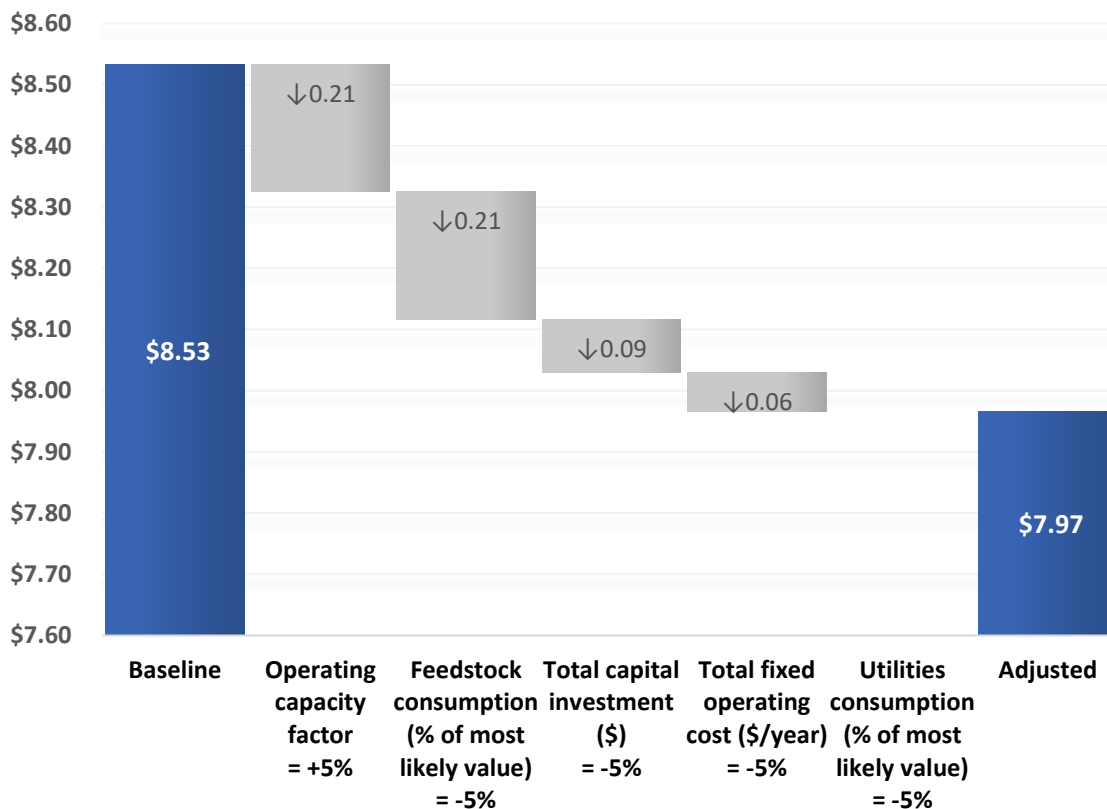


Ilustración 35
Costo Ajustado del Hidrógeno

Fuente: Elaboración Propia

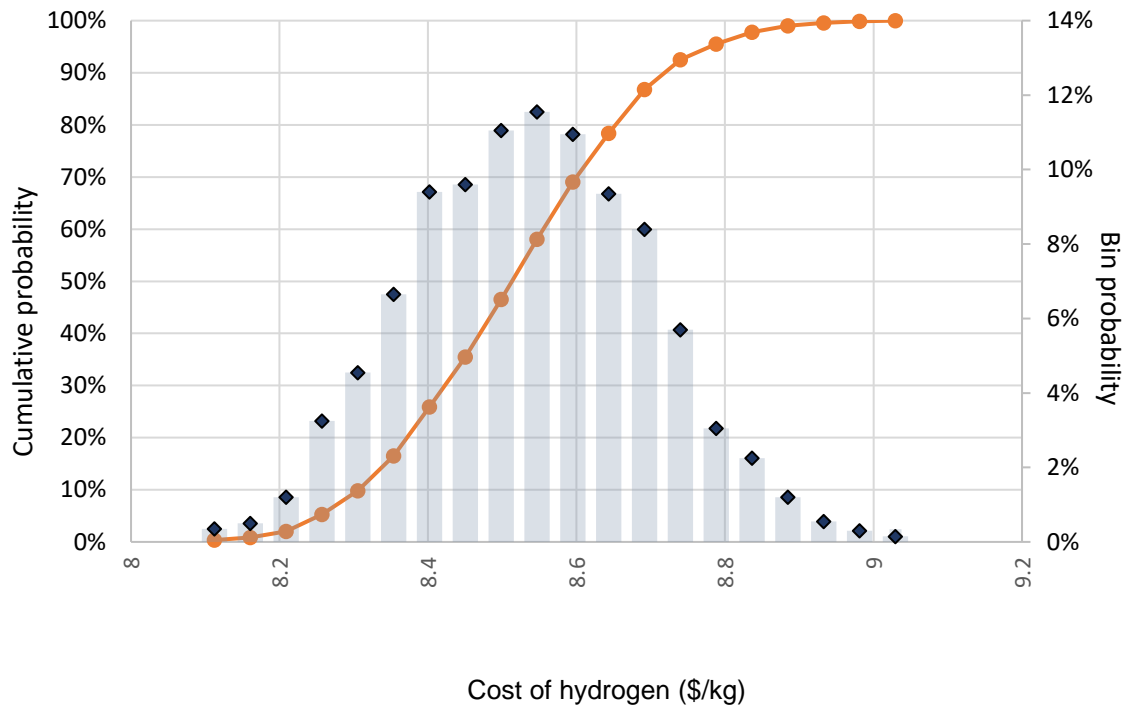


Ilustración 36
Probabilidad de Costo del Hidrógeno

Fuente: Elaboración Propia

5.6.2. COHESSA

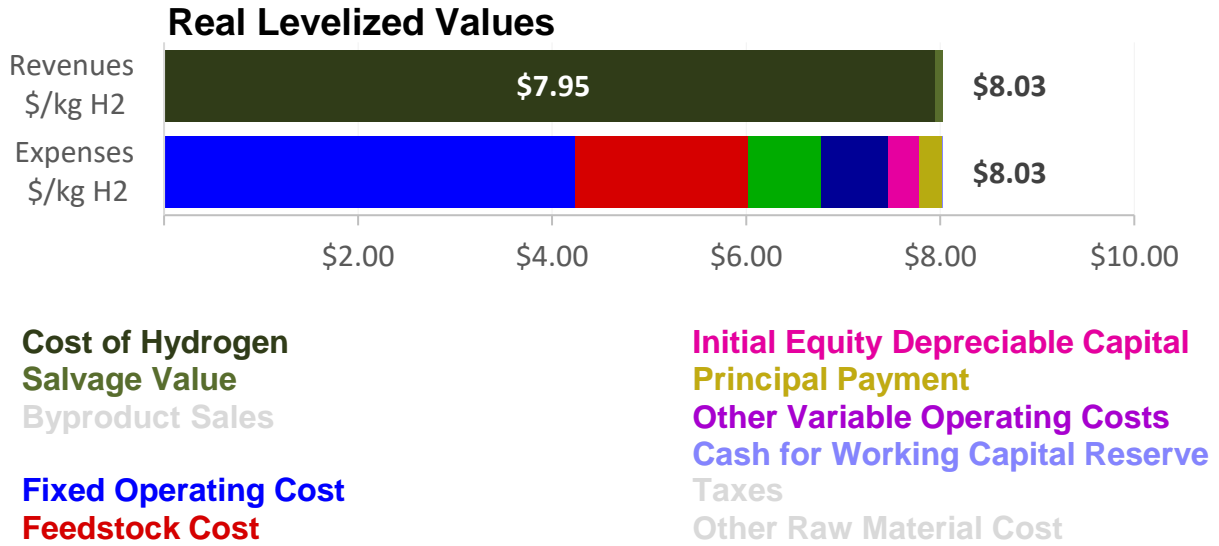


Ilustración 37
Valor Nivelizado del Hidrógeno Producible COHESSA

Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados son el costo en dólares por cada kilogramo de hidrógeno producido por la planta propuesta. Si utilizamos las características de nuestro electrolizador (54.4 kWh/kgH₂) para encontrar el LCEO en \$/MWh, encontramos que es \$145.87/MWh. Este valor resulta muy por encima del LCOE que se calculó con la formula general.

Como en el caso anterior, la razón por la cual resulta un valor tan elevado se podría explicar por el uso de un electrolizador bastante grande y por la falta de volumen de producción de hidrógeno.

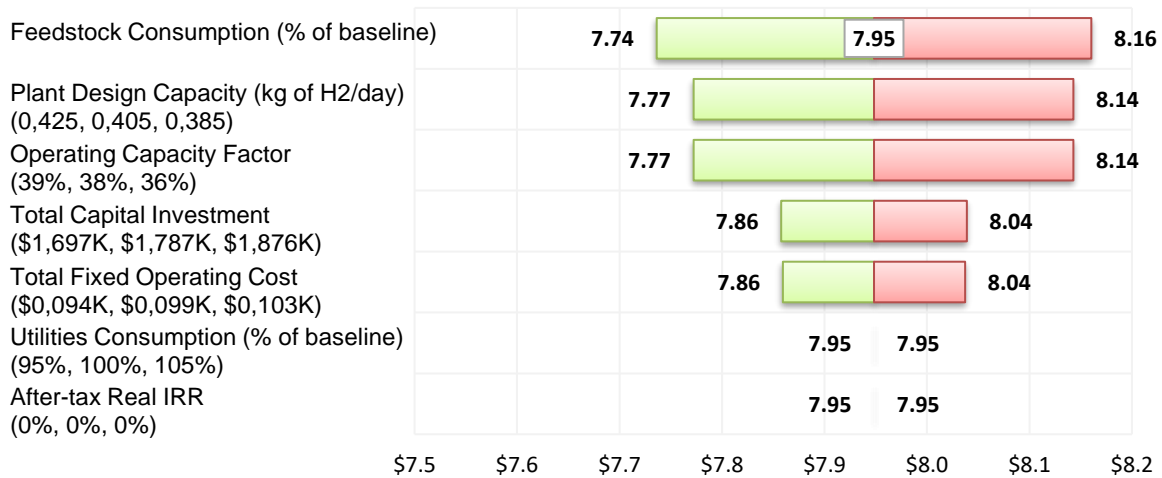


Ilustración 38
Variabilidad de Planta Propuesta COHESA

Fuente: Elaboración Propia

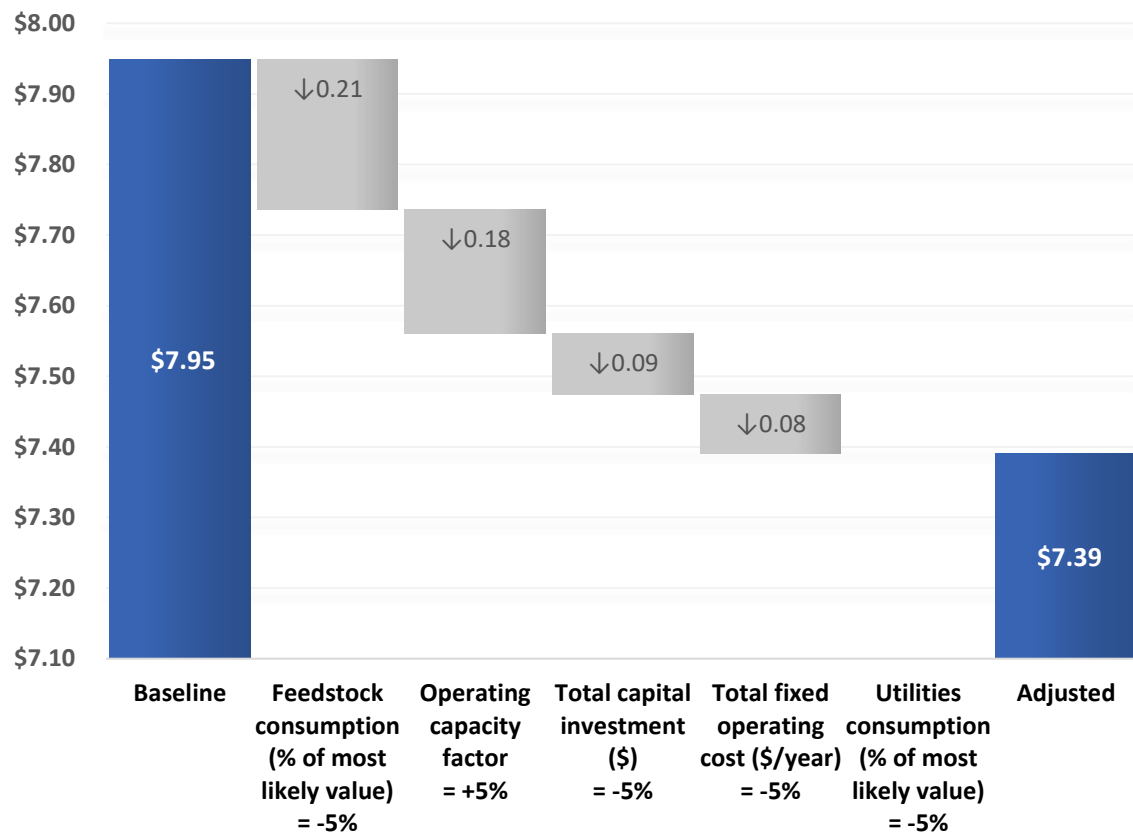


Ilustración 39
Costo Ajustado del Hidrógeno

Fuente: Elaboración Propia

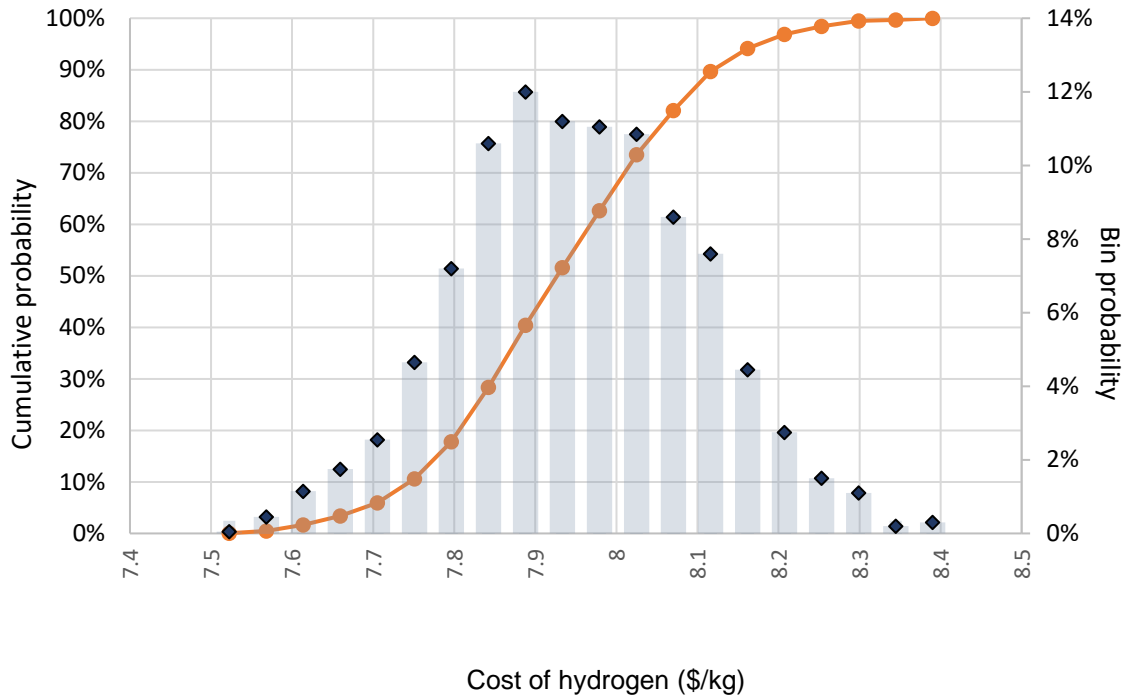


Ilustración 40
Probabilidad del Costo del Hidrógeno

Fuente: Elaboración Propia

VI. CONCLUSIONES

1. Se demostró que, con un sistema de almacenamiento energético, se podrían haber inyectar a la red 3,989.71 MWh adicionales de energía renovable. Las razones por las cuales esta energía no fue utilizada por la red son ajenas a las plantas de generación, es decir que éstas estaban listas para producir y entregar esta energía. Con un sistema de almacenamiento energético de hidrógeno, se pudo haber mitigado este fenómeno.

Se encontró que Cerro de Hula pudo haber entregado 2410.7 MWh en el año 2019, de haber sido almacenada esta energía por medio de hidrógeno, hubiese tenido un LCOE de \$141/MWh y un costo de venta de \$156.8/MWh. COHESSA pudo haber entregado 1579 MWh en el año 2019, con un LCOE de \$55/MWh, con un costo de venta de \$145.87/MWh.

2. Algunos de los métodos utilizados para determinar si los mercados son idóneos para el almacenamiento energético es el LCOE, el precio de la energía almacenada en ese mercado, la legislación que enmarca el almacenamiento energético.

Utilizando el modelo de generación de hidrógeno H₂A, y los cálculos realizados a cuenta propia, se vio que el LCOE de la energía de hidrógeno resulta muy por encima del LCOE de la energía renovable. Esto es causado debido a los elevados precios de la tecnología necesaria para producir y almacenar el hidrógeno. Este fenómeno se verá reducido a lo largo del tiempo con el abaratamiento de la tecnología.

3. Las celdas de combustible son una buena opción para el aprovechamiento de la energía de hidrógeno, con eficiencias del 50% al 85% dependiendo de la tecnología, se puede recuperar gran parte de la energía almacenada. Sin embargo, tienen las complicaciones de que entregan energía en corriente directa.
4. Con la capacidad de almacenar energía renovable, y entregarla de una manera que no contamina el medio ambiente, los generadores renovables pueden aplanar sus curvas de producción y reducir la cantidad de energía limitada. De esta manera, podrían alimentar carga en horas de bajo recurso, como en las mañanas y tardes para la energía solar, y durante el día para la energía eólica.

5. Los costos de almacenar energía dependen altamente de los costos de la energía almacenada. Esto inevitablemente eleva los costos de almacenar energía por medio de hidrógeno. Sin embargo, utilizando a la energía que se desperdicia, se puede abaratar los costos. Con la cantidad de energía vertida, los costos de inversión necesarios pueden ser pagados en un plazo de 6 a 7 años, menor a la vida útil de los electrolizadores escogidos.
6. Es necesario realizar un buen marco regulatorio para la implementación de almacenamiento energético por medio del hidrógeno. Desde el punto de vista económico, vemos que por sí solo, la energía de hidrógeno no presta muchos incentivos para ser desarrollada.

Si bien es cierto que el hidrógeno es producido utilizando energías renovables, existen más maneras de convertir el combustible de hidrógeno en electricidad. La utilización de turbinas de gas con mezclas de combustibles son una posibilidad, por lo que hay que determinar cuál es la mejor manera de estimular el mercado en ese sentido. Se debe diversificar el mercado de hidrógeno en sus diferentes usos, y dentro de la producción energética, en sus diferentes tecnologías de aprovechamiento. Quizás una ley que determine los precios en base al porcentaje de mezcla de hidrógeno utilizado, o relegarlos al mercado de oportunidad sean opciones que merezcan estudiarse.

VII. RECOMENDACIONES

1. El regulador del mercado debe de realizar un marco legal fuerte que determine y segregue las diferentes maneras en las que se puede producir hidrógeno y cómo se puede aprovechar para producir energía eléctrica. Se debe de llegar a un modelo que incentive a los productores renovables a aprovechar la energía limitada sin canibalizar la producción de energía renovable primaria.
2. Un análisis de estabilidad de red debería ser clave para la instalación de celdas de combustible de alta potencia en la red del país. Ya que son producciones energéticas de corriente directa, el uso de inversores puede afectar la calidad del servicio eléctrico.
3. Ya que los análisis realizados fueron utilizando la energía vertida de dos plantas, un estudio que tome en cuenta todos los generadores renovables, daría mucha más claridad a la situación de cuánta energía renovable se deja de inyectar a la red.
4. Tomando en cuenta que una fracción de la energía vertida de los generadores tuvo que ser suplida por fuentes no renovables, existe una oportunidad de estudio para determinar el daño ambiental que se ha causado debido a las mismas.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

El estudio realizado puede ser utilizado como una base para realizar estudios similares o más profundos. Se realizó para demostrar el potencial que existe en las tecnologías de almacenamiento energético por medio de hidrógeno en el país. Un estudio similar debe ser realizado para las plantas que deseen implementar esta tecnología o analizar su viabilidad. También, con la transición inevitable que hay hacia las energías renovables, la necesidad de estudios similares sobre métodos de almacenamiento energético diferentes está creciendo. Con estudios que sirven para analizar el impacto que tendrá el almacenamiento energético en la cantidad de energía que los generadores renovables pueden entregar, podemos determinar mejores maneras para desligarnos de los combustibles fósiles en la transición a una matriz energética más limpia.

IX. EVOLUCIÓN DEL TRABAJO ACTUAL

El paso lógico para una investigación de este tipo es agrandar el tamaño de la muestra de plantas de generación investigadas, realizar un estudio similar para más generadores renovables de la misma región. Una vez realizado esto, un estudio de estabilidad de red sería necesario para poder analizar el impacto, supuestamente positivo, de amortiguar la variabilidad de las energías renovables en el sistema. Por último, hay que analizar los cambios regulatorios que se tendrían que acatar para poder comprar y vender energía de hidrógeno.

BIBLIOGRAFÍA

- Abaspour, A., Tadrissi, N., & Sadeghi, M. (07 de 2014). A New Feedback Linearization-NSGA-II based Control Design for PEM Fuel Cell. *International Journal of Computer Applications*, 26. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/271156635_A_New_Feedback_Linearization-NSGA-II_based_Control_Design_for_PEM_Fuel_Cell/figures?lo=1
- Ares, J. (s.f.). <https://www.norvento.com/>. Obtenido de www.norvento.com: <https://www.norvento.com/almacenamiento-hidrogeno/>
- Consolidated Electrical Distributors GreenTech. (s.f.). <https://www.cedgreentech.com/>. Obtenido de www.cedgreentech.com: <https://www.cedgreentech.com/article/why-energy-storage-such-important-part-renewables-mix>
- Cuadernos de Física. (24 de 05 de 2015). <http://cuadernosdefisica.blogspot.com/>. Obtenido de cuadernosdefisica.blogspot.com: <http://cuadernosdefisica.blogspot.com/2015/05/el-atomo-de-hidrogeno.html>
- Departamento de Física Aplicada, Universidad de Sevilla. (s.f.). laplace.us.es. Obtenido de <http://laplace.us.es/>: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Potencia_el%C3%A9ctrica_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Potencia_el%C3%A9ctrica_(GIE))
- Dirección General de Electricidad y Mercados. (2019). *Informe Estadístico Anual del Subsector Eléctrico*. Tegucigalpa.
- Dobles, R. (24 de 04 de 2017). La energía firme y no firme en la generación eléctrica. *La república*, pág. 1. Recuperado el 09 de 02 de 2021, de

<https://www.larepublica.net/noticia/la-energia-firme-y-no-firme-en-la-generacion-electrica#:~:text=Esta%20integraci%C3%B3n%20e%20interrelaci%C3%B3n%20entre,confiabilidad%20del%20suministro%20de%20electricidad.>

EcuRed. (s.f.). <https://www.ecured.cu/>. Obtenido de www.ecured.cu:
<https://www.ecured.cu/Electr%C3%B3lisis>

Empresa Nacional de Energía Eléctrica. (2020). *Boletín Estadístico Energo 2020*. ENEE, Gerencia de Planificación, Cambio e Innovación Empresarial. Tegucigalpa: Gerencia de Planificación, Cambio e Innovación Empresarial. Recuperado el 02 de 24 de 2020, de <http://www.enee.hn/planificacion/2021/1%20enero.pdf>

Fernández, C. (2005). *Energética del Hidrógeno: Contexto, Estado Actual y Perspectiva de Futuro*. Sevilla, Andalucía, España: Escuela superior de Ingenieros. Recuperado el 11 de 02 de 2021, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/fichero/2.4+Propiedades+del+Hidr%C3%B3geno.pdf>

Flores, J., & Albarrán, I. (2019). Diseño, Construcción y Caracterización de un Electrolizador Tipo PEM para la Generación de Hidrógeno. *Electricidad y Energías Limpias*, 31. Obtenido de <https://www.ineel.mx/flipbook/REEL2018-2019/tecnico.pdf>

Foro Nuclear. (s.f.). <https://www.foronuclear.org/>. Obtenido de www.foronuclear.org:
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear/que-es-el-hidrogeno/>

García, M. (18 de 09 de 2018). <https://idbinvest.org/>. Obtenido de idbinvest.org:

[https://idbinvest.org/es/blog/energia/como-calcular-cuanto-cuesta-generar-la-energia-](https://idbinvest.org/es/blog/energia/como-calcular-cuanto-cuesta-generar-la-energia-electrica#:~:text=El%20costo%20nivelado%20de%20la,gas%20natural%2C%20etc.)

[electrica#:~:text=El%20costo%20nivelado%20de%20la,gas%20natural%2C%20etc.](https://idbinvest.org/es/blog/energia/como-calcular-cuanto-cuesta-generar-la-energia-electrica#:~:text=El%20costo%20nivelado%20de%20la,gas%20natural%2C%20etc.)).

GE Power. (05 de 28 de 2019). <https://www.ge.com/>. Obtenido de www.ge.com:

<https://www.ge.com/power/gas/fuel-capability/hydrogen-fueled-gas-turbines>

Gerencia de Planificación, Cambio e Innovación Empresarial . (2020). *Boletín Estadístico*

Octubre 2020. Empresa Nacional de Energía Eléctrica , Gerencia de Planificación,

Cambio e Innovación Empresarial . Tegucigalpa: Gerencia de Planificación, Cambio e

Innovación Empresarial 1. Recuperado el 29 de 01 de 2021, de

<http://www.enee.hn/planificacion/2020/Boletin%20Estadistico%20Octubre%202020>

[.pdf](http://www.enee.hn/planificacion/2020/Boletin%20Estadistico%20Octubre%202020)

Glosario de Física. (04 de 10 de 2017). <http://glosariofisicayquimica.blogspot.com/>. Obtenido

de [glosariofisicayquimica.blogspot.com:](http://glosariofisicayquimica.blogspot.com/)

<http://glosariofisicayquimica.blogspot.com/2016/01/electrolisis.html>

González, M. (01 de 05 de 2016). <https://www.larioja.com/>. Obtenido de www.larioja.com:

[https://www.larioja.com/la-rioja/201604/25/produce-consume-necesita-](https://www.larioja.com/la-rioja/201604/25/produce-consume-necesita-20160425000652-v.html)

[20160425000652-v.html](https://www.larioja.com/la-rioja/201604/25/produce-consume-necesita-20160425000652-v.html)

IRENA. (s.f.). <https://www.irena.org/>. Obtenido de www.irena.org:

[https://www.irena.org/energytransition/Energy-System-Models-and-Data/IRENA-](https://www.irena.org/energytransition/Energy-System-Models-and-Data/IRENA-FlexTool)

[FlexTool](https://www.irena.org/energytransition/Energy-System-Models-and-Data/IRENA-FlexTool)

Khan Academy. (18 de 03 de 2018). <https://es.khanacademy.org/>. Obtenido de es.khanacademy.org: <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/atoms-compounds-ions-ap/compounds-and-ions-ap/a/paul-article-2>

King, J. (2019). <https://slideplayer.com/>. Obtenido de slideplayer.com: <https://slideplayer.com/slide/13754831/>

La Gaceta. (02 de 03 de 2013). La Gaceta Diario Oficial de la República de Honduras (33065). *La Gaceta Diario Oficial de la República de Honduras (33065)*, pág. 68.

Litster, S., & McLean, G. (14 de 12 de 2003). PEM fuel cell electrodes. *Journal of Power Sources*, 61. doi:10.1016/j.jpowsour.2003.12.055

López, J. (2011). *Modelo dinámico de un electrolizador alcalino*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Recuperado el 10 de 02 de 2021, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4703/fichero/Modelo+dim%E1nico+de+un+electrolizador+alcalino.pdf>

Maqueda, M., & Sánchez, L. (18 de agosto de 2008). Curvas de Demanda de Energía Eléctrica en el Sector Doméstico de dos Regiones de México. *Smart Metering West Coast*, 5. Recuperado el 04 de 02 de 2021, de <https://www.ineel.mx/boletin042011/investiga.pdf>

Moreno, A. (26 de 07 de 2017). <http://www.sectorelectricidad.com/>. Obtenido de www.sectorelectricidad.com: <http://www.sectorelectricidad.com/18564/me-conviene-el-autoconsumo-electrico-que-es-el-lcoe-y-como-calcularlo-por-alex-moreno-bellostes/>

National Renewable Energy Laboratory. (25 de 06 de 2020). Answer to Energy Storage Problem Could Be Hydrogen. *NREL Transforming Energy*, 1. Recuperado el 11 de 02 de 2021, de <https://www.nrel.gov/news/program/2020/answer-to-energy-storage-problem-could-be-hydrogen.html>

Operador del Sistema. (31 de 01 de 2021). <https://www.ods.org.hn/>. Obtenido de www.ods.org.hn: <https://www.ods.org.hn/index.php/informes/plan-de-generacion-2020/plan-de-generacion-2020-inicial>

Oscar, S. (01 de 05 de 2016). <http://apilados.com/>. Obtenido de apilados.com: <http://apilados.com/blog/3-metodos-almacenamiento-hidrogeno/>

Penev, M., Saur, G., Hunter, C., & Zuboy, J. (2019). *H2A Hydrogen Production Model: Version 3.2018 User Guide*.

Pérez, B. (2019). *Hidrógeno y los hidruros metálicos*. Universidad Autónoma del Estado del Hidalgo, Escuela Superior de Ciudad Sahagún. Sahagun: Licenciatura en Ingeniería Industrial. Recuperado el 11 de 02 de 2021, de https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/Sahagun/industrial/2019/Hidrogeno-y-los-hidruros-metalicos.pdf

Pino, A. (2009). *Aprovechamiento de Recursos Energéticos Renovables no Integrables en la Red Eléctrica. El caso de la Producción de Hidrógeno*. Sevilla, Andalucía, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30127/fichero/Cap%C3%ADtulo+3+-+Electrolizadores.pdf>

Real Academia Española. (s.f.). <https://dle.rae.es/>. Obtenido de dle.rae.es:
<https://dle.rae.es/licuefaci%C3%B3n>

Santiago, O. (12 de 08 de 2018). <http://apilados.com/>. Obtenido de apilados.com:
<http://apilados.com/blog/es-el-hidrogeno-peligroso/>

Shiva, S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 443. doi:j.mset.2019.03.002Get

Tlili, O., Mansilla, C., & Lucchese, P. (2020). *Power-to-Hydrogen and Hydrogen-to-X: System Analysis of the techno-economic, legal, and regulatory conditions*. CEA-Université-Paris-Saclay, Technology Collaboration Programme. Paris: IEA. Recuperado el 29 de 01 de 2021, de <file:///C:/Users/rodri/OneDrive/Documents/Unitec/5%20a%C3%B1o/Proyecto%20F1/almacenamiento%20de%20hidr%C3%B3geno/Task-38-Final-Report.pdf>

Vallejo, O. (2003). Ensamblaje y evaluación de una celda de combustible tipo PEM. *Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica*, 13.

Wärtsilä Corporation. (29 de 01 de 2020). www.wartsila.com. Obtenido de <https://www.wartsila.com/>: <https://www.wartsila.com/media/news/29-01-2020-wartsila-gems-energy-storage-technology-to-enhance-wartsila-engine-plant-and-integrate-renewables-in-honduras-2628071>

ANEXOS

Anexo 1 Energía Limitada Cerro de Hula Energo y Febrero

Cerro de Hula 2020																		
Mes	Dia del mes	Dia del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo de la Limitación (h)	Incidencia										Número de incidencias	kgH2	m^3H2
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Enero	1	1	9.5	10	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	175	1962
	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	31					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enero			9.5	10	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	175	1962	
Febrero	1	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	33	17.5	21	0.8333	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	322	3615
	3	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	40	23.85	27	0.8833	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	438	4926
	10	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Febrero			41.35	27	1.7166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	760	8541	

Anexo 2 Energía Vertida Cerro de Hula marzo a mayo

Cerro de Hula 2020																		
Mes	Día del mes	Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo de la Limitación (h)	Incidencia										Número de incidencias	kgH2	m³H2
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Marzo	1	61	133.4667	28	4.7667	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2453	27567
	2	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	68	123.4667	24	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2270	25501
	9	69	16.2667	16	1.0167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	299	3360
	10	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	73	11.25	27	0.4167	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	207	2324
	14	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	75	64.488	26.87	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1185	13320
	16	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	81	57.3167	23	2.4833	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	1054	11838
	22	82	70.1	32.5	2.15	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1289	14479
	23	83	87.005	29.8167	2.9167	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	1599	17970
	24	84	32.142	29.22	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	591	6639
	25	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	86	24.934	19.18	1.3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	458	5150
	27	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marzo			620.4358	32.5	23.8501									15		11405	128147	
Abril	1	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	108	11.3333	20	0.5667	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	208	2341
	18	109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril			11.3333	20	0.5667									1		208	2341	
Mayo	1	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	131	7.5	30	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	138	1549
	11	132	19.8333	17	1.1667	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	365	4096
	12	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	149	21.2077	20.86	1.0167	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	390	4380
	29	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	152	16.6333	19.96	0.8333	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	306	3435
Mayo			65.1743	30	3.2667									4		1198	13461	

Anexo 3 Energía Vertida Cerro de Hula junio a agosto

Cerro de Hula 2020																		
Mes	Día del mes	Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo de la Limitación (h)	Incidencia										Número de incidencias	kgH2	m³3H2
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Junio	1	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	156	30.9333	32	0.9667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	569	6389
	5	157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	163	9.0667	32	0.2833	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	167	1873
	12	164	16.0467	33.2	0.4833	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	295	3314
	13	165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	167	20.75	15	1.3833	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	381	4286
	16	168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	171	23.4967	26.6	0.8833	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	432	4853
	20	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	173	23.6833	29	0.8167	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	435	4892
	22	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	180	27.5	33	0.8333	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	506	5680
	29	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junio		151.4767	33.2	5.6499										9	2784	31286		
Julio	1	183	5.3333	20	0.2667	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	98	1102
	2	184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	186	40.25	23	1.75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	740	8313
	5	187	8.216	18.96	0.4333	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	151	1697
	6	188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	191	9.1	13	0.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	167	1880
	10	192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	194	23.6	24	0.9833	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	434	4874
	13	195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	196	34.4317	28.3	1.2167	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	633	7112
	15	197	37	30	1.2333	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	680	7642
	16	198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	204	25.8333	25	1.0333	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	475	5336
	23	205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	209	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	210	53.2667	34	1.5667	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	979	11002
	29	211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Julio		237.031	34	9.1833										9	4259	47856		
Agosto	1	214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	217	24.75	27	0.9167	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	455	5112
	5	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	220	12.6667	20	0.6333	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	233	2616
	8	221	10.9525	10.11	1.0833	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	201	2262
	9	222	34.8333	38	0.9167	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	640	7195
	10	223	29.15	33	0.8833	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	536	6021
	11	224	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	226	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	228	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	229	167.375	32.5	5.15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3077	34570
	17	230	4.6667	35	0.1333	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	86	964
	18	231	15.925	19.5	0.8167	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	293	3289
	19	232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	238	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	239	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	241	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto		300.3192	38	10.5333										8	5521	62029		

Anexo 4 Energía Vertida Cerro de Hula septiembre a noviembre

Cerro de Hula 2020																		
Mes	Día del mes	Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo de la Limitación (h)	Incidencia										Número de incidencias	kgH2	m³3H2
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Septiembre	1	245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	247	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	248	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	249	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	254	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	257	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	258	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	259	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	261	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	262	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	264	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	266	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	267	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	269	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	271	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	272	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	273	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	274	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Septiembre			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Octubre	1	275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	277	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	278	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	279	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	282	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	283	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	284	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	286	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	287	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	291	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	292	35.2623	12.98	2.7167	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	648	7283	0
	19	293	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	294	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	295	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	297	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	299	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	303	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Octubre			35.2623	12.98	2.7167	0	0	0	0	0	0	0	0	1	648	7283	0	
Noviembre	1	306	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	307	29.07	30.6	0.95	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	534	6004	0
	3	308	80.96	25.3	3.2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1488	16722	0
	4	309	107.7167	24.5	5.0333	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1980	22248	0
	5	310	40.7595	28.11	1.45	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	749	8419	0
	6	311	9.45	9	1.05	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	174	1952	0
	7	312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	313	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	314	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	317	22	22	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	404	4544	0
	13	318	37.5	30	1.25	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	689	7745	0
	14	319	130.385	15.65	7.6833	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2397	26930	0
	15	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	321	270.6667	26.6667	8.3167	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4975	55904	0
	17	322	459.206	36.4333	11.9167	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	8441	94846	0
	18	323	94.3827	19.94	4.7333	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1735	19494	0
	19	324	173.4867	12.4575	9.4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	3189	35833	0
	20	325	348.1458	21.3833	11.5667	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	6400	71907	0
	21	326	260.58	24.4667	10.7667	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	4790	53821	0
	22	327	34.965	18.9	1.85	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	643	7222	0
	23	328	164.4167	20.5	7.5167	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	3022	33959	0
	24	329	186.76	26.5333	5.8333	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	3433	38574	0
	25	330	404.6667	40	10.1167	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	7439	83581	0
	26	331	419.2928	37.47	9.9667	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	7708	86602	0
	27	332	148.1667	35	4.2333	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2724	30603	0
	28	333	170.3548	22.295	6.8	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	3132	35186	0
	29	334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	335	314.125	30.75	8.4667	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	5774	64880	0
Noviembre			3907.0568	40	133.1001	0	0	0	0	0	0	0	0	44	71821	806976	0	

Anexo 5 Energía Vertida Cerro de Hula diciembre

Cerro de Hula 2020																		
Mes	Día del mes	Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo de la Limitación (h)	Incidencia										Número de incidencias	kgH2	m³H2
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Diciembre	1	336	74.005	30.95	2.4333	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1360	15285
	2	337	212.6667	20	10.6333	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3909	43925
	3	338	539.175	39.5	13.65	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	9911	111363
	4	339	97.283	27.51	4.2667	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1788	20093
	5	340	174	40	4.35	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3199	35939
	6	341	408.9	39.5	9.45	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	7517	84456
	7	342	497.495	32.04	14.7833	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	9145	102754
	8	343	608.2917	40.9286	16.9833	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7	11182	125639
	9	344	723.4557	26.595	27.5333	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	13299	149425
	10	345	449.6333	47	9.5667	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	8265	92869
	11	346	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	347	383.9	33	11.6333	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	7057	79292
	13	348	98.01	24.3	4.0333	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1802	20243
	14	349	178.25	31	5.75	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3277	36816
	15	350	99.06	38.1	2.6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1821	20460
	16	351	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	353	219.5	30	7.3167	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	4035	45336
	19	354	576.1333	58.5	10.3333	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	10591	118996
	20	355	372.1008	44.21	8.4167	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	6840	76855
	21	356	333.5	35.5	9.4	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	6131	68882
	22	357	310.75	24.5	11	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	5712	64183
	23	358	188.875	19.375	10.7	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	3472	39011
	24	359	79.215	14.9	5.65	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	1456	16361
	25	360	1031.9667	42	19.15	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	4	18970	213146
	26	361	958.2417	55.75	18.0167	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	17615	197918
	27	362	1060.3	51	18.35	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	19491	218998
	28	363	382.95	39.5	9.6333	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	7040	79096
	29	364	932.46	49.675	21.0167	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	17141	192593
	30	365	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	366	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre			10990.1179	58.5	286.6499										56	200664	2254650	

Anexo 6 Incidencias tipo 1 Cerro de Hula

Cerro de Hula Incidencia 1				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
171	23.4967	26.6	0.8833	3
186	40.25	23	1.75	1
187	8.216	18.96	0.4333	1
Total	71.9627		3.0666	5

Anexo 7 Incidencias tipo 3 Cerro de Hula

Cerro de Hula Incidencia 3				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
108	11.3333	20	0.5667	1
194	23.6	24	0.9833	1
222	34.8333	38	0.9167	1
230	4.6667	35	0.1333	1
307	29.07	30.6	0.95	1
322	459.206	36.4333	11.9167	1
Total	562.7093		15.4667	6

Anexo 8 Incidencias Tipo 5 Cerro de Hula

Cerro de Hula Incidencia 5				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
86	24.934	19.18	1.3	1
163	9.0667	32	0.2833	1
Total	34.0007		1.5833	2

Anexo 9 Incidencia Tipo 6 Cerro de Hula

Cerro de Hula Incidencia 6				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
229	167.375	32.5	5.15	1
Total	167.375		5	1

Anexo 10 Incidencias Tipo 7 Cerro de Hula

Cerro de Hula Incidencia 7				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
308	80.96	25.3	3.2	1
309	107.7167	24.5	5.0333	1
310	40.7595	28.11	1.45	1
311	9.45	9	1.05	1
317	22	22	1	1
318	37.5	30	1.25	1
319	130.385	15.65	7.6833	1
321	270.6667	26.6667	8.3167	1
323	94.3827	19.94	4.7333	1
324	173.4867	12.4575	9.4	4
325	348.1458	21.3833	11.5667	3
326	260.58	24.4667	10.7667	3
327	34.965	18.9	1.85	6
328	164.4167	20.5	7.5167	3
329	186.76	26.5333	5.8333	3
330	404.6667	40	10.1167	1
331	419.2928	37.47	9.9667	3
332	148.1667	35	4.2333	1
333	170.3548	22.295	6.8	2
335	314.125	30.75	8.4667	4
336	74.005	30.95	2.4333	2
337	212.6667	20	10.6333	1
338	539.175	39.5	13.65	1
339	97.283	27.51	4.2667	2
340	174	40	4.35	1
341	408.9	39.5	9.45	2
342	497.495	32.04	14.7833	5
343	608.2917	40.9286	16.9833	7
344	723.4557	26.595	27.5333	2
345	449.6333	47	9.5667	1
347	383.9	33	11.6333	1
348	98.01	24.3	4.0333	1
349	178.25	31	5.75	1
350	99.06	38.1	2.6	1
353	219.5	30	7.3167	1
354	576.1333	58.5	10.3333	2
355	372.1008	44.21	8.4167	1
356	333.5	35.5	9.4	2
357	310.75	24.5	11	2
358	188.875	19.375	10.7	4
359	79.215	14.9	5.65	3
360	1031.9667	42	19.15	1
361	958.2417	55.75	18.0167	1
362	1060.3	51	18.35	2
363	382.95	39.5	9.6333	1
364	932.46	49.675	21.0167	4
Total	14408.8987		406.8833	94

Anexo 11 Incidencia Tipo 8 Cerro de Hula

Cerro de Hula Incidencia 8				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
167	20.75	15	1.3833	1
173	23.6833	29	0.8167	1
180	27.5	33	0.8333	1
191	9.1	13	0.7	1
196	34.4317	28.3	1.2167	1
Total	115.465		4.95	5

Anexo 12 Incidencia Tipo 9 Cerro de Hula

Cerro de Hula Incidencia 9				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
1	9.5	10	0.95	1
33	17.5	21	0.8333	1
40	23.85	27	0.8833	1
61	133.4667	28	4.7667	1
73	11.25	27	0.4167	1
75	64.488	26.87	2.4	1
84	32.142	29.22	1.1	1
131	7.5	30	0.25	1
132	19.8333	17	1.1667	1
149	21.2077	20.86	1.0167	1
152	16.6333	19.96	0.8333	1
156	30.9333	32	0.9667	1
164	16.0467	33.2	0.4833	1
183	5.3333	20	0.2667	1
197	37	30	1.2333	1
204	25.8333	25	1.0333	1
210	53.2667	34	1.5667	1
217	24.75	27	0.9167	1
220	12.6667	20	0.6333	1
221	10.9525	10.11	1.0833	1
223	29.15	33	0.8833	1
231	15.925	19.5	0.8167	1
292	35.2623	12.98	2.7167	1
361	958.2417	55.75	18.0167	1
68	123.4667	24	5.3	2
82	70.1	32.5	2.15	2
81	57.3167	23	2.4833	3
83	87.005	29.8167	2.9167	3
360	1031.9667	42	19.15	3
Total	2982.5876		77.2334	37

Anexo 17 Incidencias 1 COHESSA

COHESSA Incidencia 1				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
3	21.6493	24.98	0.8667	1
4	25.415	29.9	0.85	1
6	8.405	12.3	0.6833	1
12	22.5	30	0.75	1
17	21.4667	23	0.9333	1
18	19.2815	23.61	0.8167	1
20	17.6485	22.53	0.7833	1
34	13.978	14.46	0.9667	1
41	16.8667	23	0.7333	1
42	20	25	0.8	1
46	5.775	16.5	0.35	1
52	47.2367	22.22	2.05	2
56	19.71	21.9	0.9	1
58	16.575	19.5	0.85	1
62	13.5	15	0.9	1
68	39.165	19.9	2.4	1
69	90.7207	23.78	3.7333	1
72	12.75	15	0.85	1
75	18.335	19.3	0.95	1
81	17.6	9.6	1.7333	1
88	15.8433	19.4	0.8167	1
94	17.3333	20	0.8667	1
101	20	30	0.6667	1
104	19.32	20.7	0.9333	1
115	11.3733	17.06	0.6667	1
119	13.4225	13.65	0.9833	1
121	14.0933	15.1	0.9333	1
125	4.155	27.7	0.15	1
131	13	15	0.8667	1
133	13.9207	21.98	0.6333	1
144	18.75	22.5	0.8333	1
148	21.636	24.04	0.9	1
151	11.6667	20	0.5833	1
154	12.8435	15.11	0.85	1
155	19.228	20.24	0.95	1
156	11.5	11.5	1	1
158	14.6667	8.5	1.7333	1
160	11.1	26.64	0.4167	1
161	43.8997	24.2	1.8167	2
163	19.7072	22.31	0.8833	1
172	12.28	15.35	0.8	1
173	21.8833	15.5	1.4167	2
181	14.4	18	0.8	1
190	14.6667	22	0.6667	1
191	12.665	14.9	0.85	1
192	11.0833	19	0.5833	1
194	21.7438	19.735	1.1	1
196	27.8608	24.95	1.1167	1
197	12.2917	14.75	0.8333	1
202	15.0167	17	0.8833	1
212	21.6493	24.98	0.8667	1
220	9.75	11.7	0.8333	1
222	16.15	19	0.85	1
227	16.2933	18.8	0.8667	1
248	19.2	19.2	1	1
250	24.15	21	1.15	1
285	19.907	23.42	0.85	1
311	9.2433	9.4	0.9833	1
315	21.6493	24.98	0.8667	1
330	40.12	13.56	3.6667	1
365	85.3333	17	5.2667	1
366	11.0985	13.59	0.8167	1
Total	1254.4726		67.45	65

Anexo 18 Incidencia Tipo 2 COHESA

COHESA Incidencia 2				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
27	37.8893	23.08	1.6333	2
Total	37.8893		1.6333	2

Anexo 19 Incidencia Tipo 3 COHESA

COHESA Incidencia 3				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
59	39.1067	22.45	1.75	1
67	33.5053	19.34	1.7167	2
70	37.6667	20	1.8833	2
71	18.3333	20	0.9167	1
98	16.569	18.41	0.9	1
112	15.37	17.4	0.8833	1
128	15.2733	15.8	0.9667	1
194	21.7438	19.735	1.1	1
Total	197.5681		10.1167	10

Anexo 20 Incidencias Tipo 4 COHESA

COHESA Incidencia 4				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
8	22.9	22.9	1	1
9	0	0	0.8167	1
15	17.6667	20	0.8833	1
49	20.9917	22.9	0.9167	1
185	14.32	17.9	0.8	1
Total	75.8784		4.4167	5

Anexo 21 Incidencia Tipo 5 COHESA

COHESA Incidencia 5				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
14	17.3133	19.6	0.8833	1
45	12.4667	14.96	0.8333	1
47	17.6667	20	0.8833	1
54	14	15	0.9333	1
60	1.75	24.79	0.7667	1
79	22.6667	20	1.1333	1
Total	85.8634		5.4332	6

Anexo 22 Incidencia Tipo 6 COHESA

COHESA Incidencia 6				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
76	58.5717	25.6833	2.2833	1
229	20.4347	3.16	6.4667	1
278	38.74	15.6	2.4833	1
291	17.685	19.65	0.9	1
338	117.7563	17.69	7.9	1
Total	253.1877		20.0333	5

Anexo 23 Incidencia Tipo 7 COHESSA

COHESSA Incidencia 7				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
141	45.01	19.29	2.3333	1
309	20.0685	23.61	0.85	1
313	25.3842	18.35	1.3833	1
314	22.3817	20.66	1.0833	1
317	18.8505	19.17	0.9833	1
319	43.1033	19.3	2.2333	1
320	66.1333	8	8.2667	1
322	10.368	8.64	1.2	1
323	9.116	10.32	0.8833	1
324	44.046	24.47	1.8	1
325	101.918	15.72	6.4833	1
326	34.965	18.9	1.85	1
330	40.12	13.56	3.6667	1
332	133.7333	17	7.8667	1
333	96.0667	11	8.7333	1
336	52.85	6.04	8.75	1
337	27.285	3.21	8.5	1
338	117.7563	17.69	7.9	1
339	37.335	11.79	3.1667	1
340	30.4	8	3.8	1
341	59.5407	13.33	4.4667	1
342	92.6833	13.4	6.9167	1
343	79.2	9.6	8.25	1
347	79.3543	9.94	7.9833	1
349	104.37	12.6	8.2833	1
350	59.5133	15.8	3.7667	1
351	41.87	15.8	2.65	1
352	141.182	19.34	7.3	1
353	115.7167	13.25	8.7333	1
354	138.0107	18.08	7.6333	1
355	84.1667	25	3.3667	1
356	33.5267	4.7	7.1333	1
357	138.6	16.5	8.4	1
358	133.8333	22	6.0833	1
359	50.005	21.9	2.2833	1
361	68.82	7.4	9.3	1
364	65.01	6.6	9.85	1
365	85.3333	17	5.2667	1
275	30.8427	32.48	1.1333	2
318	45.0667	18.4	2.45	2
321	88.4317	11.9	6.8833	2
331	26.601	14.68	3.6833	2
335	36.5533	13.9	2.6333	2
344	187.0713	13.44	8.2167	2
345	48.389	4.69	9.55	2
346	81.9597	15.87	4.0833	2
348	105.0598	16.535	6.9167	2
360	17.4333	2.95	11.55	2
327	78.4353	11.7233	7.4833	3
334	64.7317	16.2667	4.3	3
Total	3358.2023		268.283	64

Anexo 24 Incidencia Tipo 8 COHESA

COHESA Incidencia 8				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
307	14.6667	20	0.7333	1
Total	14.6667		0.7333	1

Anexo 25 Incidencia Tipo 9 COHESA

COHESA Incidencia 9				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
1	13.5	15	0.9	1
19	29.1433	24.98	1.1667	1
26	18.2035	22.29	0.8167	1
33	23.6	24	0.9833	1
59	39.1067	22.45	1.75	1
61	23.205	27.3	0.85	1
68	39.165	19.9	2.4	1
69	90.7207	23.78	3.7333	1
76	58.5717	25.6833	2.2833	1
77	15.6667	20	0.7833	1
78	14.6667	20	0.7333	1
80	11.9167	11	1.0833	1
81	17.6	9.6	1.7333	1
82	18.06	18.06	1	1
83	23.6	24	0.9833	1
84	16.235	19.1	0.85	1
89	11.35	22.7	0.5	1
96	21.4667	23	0.9333	1
123	13.0533	17.8	0.7333	1
130	10.8167	11	0.9833	1
132	16.6653	17.24	0.9667	1
137	13.5667	14.8	0.9167	1
139	14.2167	17.06	0.8333	1
158	14.6667	8.5	1.7333	1
223	17.6667	21.2	0.8333	1
306	13.128	16.41	0.8	1
363	139.5833	25	5.5833	1
40	34.7167	19.5	1.7833	2
362	51.0232	7.5867	7.1167	3
Total	824.881		45.7663	32

Anexo 26 Incidencia Tipo 10 COHESA

COHESA Incidencia 10				
Día del año	Energía Vertida (MWh)	Potencia Limitada (MW)	Tiempo (h)	Incidencias
287	13.86	19.8	0.7	1
Total	13.86		0.7	1