UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE DE CONCEPCION – REY BUALDINO DE BELGICA

EVALUACIÓN TÉCNICA SOBRE PLANTA ENERGETICA HIBRIDA SOLAR AUTOSUSTENTABLE EN ISLA MOCHA.

Trabajo De Titulación Para optar al Título de Ingeniería de Ejecución Mecánica de Procesos y Mantenimiento Industrial.

Alumno: Nicolás Esteban Caamaño Aravena.

Profesor: Juan José Figueroa Cohn.

2022

DEDICATORIA.

Dedico esta memoria de titulo a mi primeramente a mi núcleo familiar por todo el apoyo que me han entregado a lo largo de estos años, por apoyarnos en momentos difíciles y regocijarnos en los momentos felices, sin duda han sido el pilar más importante de en este proceso universitario, como también lo fueron en mi trayectoria universitaria, donde atravesamos momentos difíciles y pese a eso pudimos componernos.

También se la dedico a mis familiares que estuvieron presentes cuando inicie esta trayectoria universitaria pero lastimosamente ya no están presentes para ver finalizado este proceso, por lo cual los perpetuare en esta dedicatoria señalando que pese a las dificultades sufridas en esta trayectoria universitaria jamás me di por vencido hasta finalizar este proceso en memoria de ellos.

Igualmente dedico esta memoria de título a mis familiares fuera del núcleo familiar, amistades y amistades de mi circulo familiar, puesto que siempre estuvieron apoyándome y potenciándome en la realización de esta memoria de título.

Por ultimo y no menos importante a mi particular amigo Francisco Diaz quien me apoyo y oriento a lo largo de este proceso universitario fortaleciendo nuestro lazo de amistad a lo largo de los años universitarios.

ALCANCE.

El alcance del presente estudio esta determinado por las necesidades de los habitantes de la isla Mocha, enfocado en la necesidad de los isleños en energizar la isla con una energía que no presente una huella de carbono, y que la planta energética presente una auto sustentabilidad energética y no presente interrupciones.

Principalmente se realizará este estudio con las bases de no generar un daño ni influencia en la vida silvestre de la isla, teniendo un impacto mínimo o nulo en la flora y fauna arraigada en la isla. También se tiene como condición no modificar la estructura de la isla, refiriéndose a no generar construcciones que presenten una variación terrenal en los biomas de la isla, refiriéndose a que no se necesite excavaciones ni movimientos de tierra y modificaciones de las costas. Ni estructuras que contaminen visualmente los atributos y atracciones turísticas presentes en la isla.

Posteriormente de los estudios realizados se dispondrá a hacer la elección de equipos que generarán la energía eléctrica en la isla, teniendo en cuenta las limitaciones estructurales y el impacto que estos tendrán en la flora y fauna de la ínsula.

Luego se elaborarán los cálculos pertinentes en lo que respecta a saber de cuanto será la producción energética que presentará nuestra planta de energía, que combustibles utilizará y cuanto producto consumirá para la producción de energía. enfocándose netamente en los valores que obtendremos de los cálculos, dejando de lado los costos de los equipos, junto a la viabilidad que presenta la isla, de poder suministrar estos productos para el funcionamiento de la planta.

Por último, se realizará una conclusión basada en los resultados de los cálculos presentes del trabajo, otorgándole un enfoque a ligado a la realidad que presenta actualmente la isla, en torno a las falencias que presenta los habitantes de la isla como la isla en sí misma y orientar los resultados a la viabilidad de que la isla pueda ser autosustentable o necesite apoyo desde el continente.

INDICE.

INTRODUCCIÓN..... 1

1 CAPITULO 1: MARCO TEORICO. 3

1.1 ENERGIAS RENOVABLES 4

1.1.1 TIPOS DE ENERGIAS RENOVABLES 4

1.1.1.1 ENERGIA SOLAR 5

1.1.1.2 ENERGIA EOLICA..... 5

1.1.1.3 ENERGIA HIDRAULICA O HIDROELECTRICA 5

1.1.1.4 ENERGIA GEOTERMICA..... 6

1.1.1.5 ENERGIA MAREOMOTRIZ Y UNDIMOTRIZ 6

1.1.1.6 BIOENERGIA 6

1.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA 7

1.3 HIDROGENO. 9

1.3.1 PRODUCCION Y USO DEL HIDROGENO. 9

1.4 HIDROGENO VERDE..... 13

1.4.1 ELECTROLISIS POLIMERICA (PEM). 15

1.5 PILA DE COMBUSTIBLE..... 18

1.5.1 TIPOS DE PILA DE COMBUSTIBLE. 18

1.5.1.1 PILA DE COMBUSTIBLE DE ACIDO FOSFORICO (PAFC). 19

1.6 ESTADO DEL ARTE EN CHILE Y EN EL MUNDO. 20

1.6.1 HIDROGENO VERDE EN SUECIA. 21

1.6.2 HIDROGENO VERDE EN CHILE..... 22

1.7 ISLA MOCHA CRONOLOGIA. 25

1.8 RECURSO HIDRICO ISLA MOCHA. 26

1.9 ENERGIA EN LA ISLA MOCHA. 27

1.9.1 COMO OPERA EL SISTEMA..... 29

2 CAPITULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 30

2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA. 31

2.1.1 SUSTITUIDOR ENERGETICO 32

2.1.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO..... 34

3 CAPITULO 3: SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA ENERGETICA. 36
3.1 DISEÑO PLANTA BI ENERGETICA..... 37
3.1.1 CALCULO CONSUMO DIARIO ISLA MOCHA..... 37
3.2 CONSUMO PROMEDIO DE UN HOGAR. 38
3.2.1 DISTRIBUCION DE ABASTECIMIENTO DE ENERGIA. 39
3.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS. 41
3.3.1 CELDA DE COMBUSTIBLE (PAFC). 41
3.3.2 ELECTROLIZADOR PEM (M2000). 43
3.3.3 BATERIA DE ION DE LITIO (UP5000). 46
3.3.4 PLANTA FOTOVOLTAICA 47
3.3.5 GENERACION ENERGETICA PLANTA PV PARA PROCESO DE ELECTROLISIS..... 52
3.3.6 PPRODUCCION Y CONSUMO DE LA PLANTA DE ELECTROLISIS (ELY) 53
3.3.7 ALMACENAMIENTO DE LA PRODUCCION 54
3.3.7.1 DATOS PLANTEADOS PARA LA PRODUCCION DE HIDROGENO:..... 55
3.3.7.2 DATOS PLANTEADOS PARA LA PRODUCCION DE OXIGENO: 56
CONCLUSION. 58
LINKOGRAFIA..... 60
ANEXO A: REPORTE EXPLORADOR SOLAR..... 62

INDICE DE FIGURAS.

Figura n°1: Tipo de radiaciones solares 8

Figura n°2: Efecto fotovoltaico 8

Figura n°3: Producción de hidrogeno industrial. 10

Figura n°4: Colores del hidrogeno. 12

Figura n°5: Consumo de hidrogeno industrial..... 13

Figura n°6: Ilustración esquemática de la electrolisis de agua PEM. 15

Figura n°7: Vista esquemática del electrolizador PEM 16

Figura n°8: Partes del electrolizador PEM 17

Figura n°9: Pila de combustible Apolo 11. 18

Figura n°10: Esquema célula de combustible (PAFC) 20

Figura n°11: Varios métodos de producción de Hidrogeno. 20

Figura n°12: Línea de producción y transporte del hidrogeno verde de la planta en Escocia 22

Figura n°13: Descripción de los componentes presentes en la planta hibrida..... 23

Figura n°14: Descripción del proceso de la planta hibrida..... 24

Figura n°15: Sistema de hidrogeno P2P..... 25

Figura n°16: Esquema de funcionamiento de APR 27

Figura n°17: Imagen satelital Isla Mocha..... 35

Figura n°18: Imagen Satelital Isla mocha con delimitación de terreno 35

Figura n°19: Curva de consumo energético diario en el hogar. 38

Figura n°20: Promedio horario de la radiación global instantánea. 40

Figura n°21: Promedio de la radiación directa normal para cada hora y mes. 40

Figura n°22: Pila de combustible PAFC, modelo FP-100iH..... 42

Figura n°23: Especificaciones técnicas de la pila de combustible PAFC. 43

Figura n°24: Electrolizador PEM M2000 (M series)..... 45

Figura n°25: Tabla de datos PEM M2.000 (M series) 45

Figura n°26: Batería de ion de litio UP 5.000 46

Figura n°27: Ficha técnica UP 5.000 47

Figura n°28: Imagen de ubicación al mapa de coordenadas. 49

Figura n°29: Ingreso de datos paneles fotovoltaicos a explorador solar 50

Figura n°30: Grafica de Generación eléctrica mensual en Explorador Solar. 50

Figura n°31: Resultados Generales del informe del Explorador Solar..... 51

Figura n°32: Características y resultados generales de informe de explorador solar..... 52

Figura n°33: Entrada y salida del electrolizador PEM asociado a valores estequiométricos. 53

INDICE DE TABLAS.

Tabla n°1: Ventajas y desventajas de electrolisis PEM vs Alcalino (AWE)..... 18

Tabla n°2: Tipos de energía y sus respectivas ventajas y desventajas..... 34

Tabla n°3: Calculo estequiométrico de la reacción química de electrolisis, para producir 1 Kg de hidrogeno molecular..... 53

DEFINICIONES.

- Lafkenches: Los lafkenches se sitúan en el borde costero entre las regiones Bío Bío y Valdivia, son una de las 6 identidades que constituyen el pueblo mapuche y se definen como gente perteneciente al mar.
- Mochanos: Gentilicio utilizado para nombrar a los habitantes de la isla Mocha.
- Biomas: cada una de las grandes comunidades ecológicas en las que domina un tipo de vegetación como la selva tropical, tundra o desierto.
- kVA: Unidad ligada a la potencia aparente (Cantidad total de potencia que consume un sistema).
- Conaf: Siglas correspondientes a la Corporación Nacional Forestal, encargada de contribuir al desarrollo del país a través del manejo sostenible de los ecosistemas forestales y los componentes naturales asociados a esta.
- Odorización: Producto que se incorpora a un gas para darle un olor característico y facilitar su detección en un escape.
- Mt: Millones de toneladas.
- Hidrocracking o Hidrocraqueo: El hidrocraqueo es un proceso de craqueo catalítico en el cual, mediante la adición de hidrógeno, las moléculas de hidrocarburos de cadena larga se rompen en moléculas más cortas.
- MW/MWh: unidad de potencia que equivale a millones de vatios. Los siguientes nombres se les adhiere estas siglas, megavatios o Mega Watts, la sigla h denota que esta unidad de potencia esta siendo multiplicada por una unidad de tiempo, en este caso horas.
- Nm3: Normo metro cubico es una medida de volumen de un gas no condensable a 0°C y a nivel del mar. La fórmula incluye una “N”, escrita previa a las unidades de volumen que indica su condición de normal.
- kV/kVh: Kilovatios o Kilo Watts. Unidad de potencia que equivale miles de vatios, cuando estas siglas presentan una h se denota que la unidad de potencia esta siendo multiplicada por una unidad de tiempo, en este caso horas.
- H2O: formula química para representar el agua.
- GEI: siglas adheridas Gases de efecto invernadero.
- ENAP: Empresa nacional del petróleo.
- HSP: Hora Solar Pico.

INTRODUCCIÓN.

Gracias a estudios científicos la humanidad ha podido descubrir sobre un sin números de sistemas ecológicos que viven en nuestro diario vivir los cuales gracias a estos nos permiten vivir nuestro día a día sin dificultades entregándonos aire limpio, alimentos, entre otros, uno de ellos es la atmosfera la cual podemos aludir a una capa gaseosa que envuelve nuestro planeta la cual está compuesta por una mezcla de distintos valores volumétricos de gases como el nitrógeno, oxígeno y una serie más de oligogases como el argón, el helio y gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el ozono.

Los gases de efecto invernadero o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. En la atmósfera de la Tierra, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H2O), el dióxido de carbono (CO2), el óxido nitroso (N2O), el metano (CH4) y el ozono (O3). Hay además en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero (GEI) creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos (compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono, estos compuestos pueden actuar como potentes gases de efecto invernadero en la atmósfera y son también una de las causas del agotamiento de la capa de ozono, la cual es de vital importancia puesto que la capa de ozono protege a los seres vivos de la nociva radiación de rayos ultravioletas producidos por el sol.

Debido a esto en busca de preservar la capa de ozono, junto a la temperatura del planeta un sin números de países se ha propuesto con la meta de bajar el consumo de los combustibles fósiles que son los que más producen emisiones GEI (dióxido de carbono.)

Unas de las soluciones que se están desarrollando en algunas naciones es la del hidrogeno verde, la cual tiene como tarea suplantar para siempre el combustible fósil por esta nueva invención la cual posee como gran ventaja de que su producción y uso no daña al medio ambiente, también su versatilidad se sigue descubriendo puesto que cada vez se descubren nuevos usos para este innovador combustible tanto como para áreas industriales, químicas y salud, transporte entre otros.

Todo lo anterior representa una oportunidad importante para investigar y desarrollar los posibles beneficios que entregara este nuevo combustible al país tanto en el ámbito ambiental, económico y tecnológico.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la sustentabilidad de una planta hibrida de energía alimentada de energía solar e hidrogeno verde como principal fuente de energía para la isla Mocha y posible sustituidor del combustible diésel como principal forma de energizar la isla.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

1. Estudiar los parámetros necesarios para generar la producción y almacenamiento de energía, señalando los desafíos presentes de la implementación de la planta hibrida solar en la isla.

2. Identificar los puntos principales de la isla en donde sea posible montar esta planta hibrida solar, alineado a las demandas de los habitantes de la isla, junto a las condiciones ambientales, climatológicas y estructurales que tenemos presente en la isla.

3. Cuantificar la energía eléctrica necesaria que deberá entregar la planta hibrida de energía para suplir las necesidades energéticas presentes en la isla.

1CAPITULO 1: MARCO TEORICO.

1.1 ENERGIAS RENOVABLES

Las energías renovables son un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido del o que pueden consumirse. Un ejemplo de estas fuentes, son, por ejemplo, la luz solar y el viento; estas fuentes se renuevan continuamente. Las fuentes de energía renovable abundan y las encontramos en cualquier entorno.

Por el contrario, los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas, constituyen fuentes de energía no renovables que tardan cientos de millones de años en formarse. Los combustibles fósiles producen la energía al quemarse, lo que provoca emisiones dañinas en forma de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono.

La generación de energías renovables produce muchas menos emisiones que la quema de combustibles fósiles. Debido a esto se ha impulsado una transición del uso de los combustibles fósiles, los cuales representan en la actualidad la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, al uso de energías renovables, lo cual resulta fundamental para abordar la crisis producida por el cambio climático.

Otro punto a favor que poseen las energías renovables es que en cualquier parte del planeta hay algún tipo de recurso renovable, por lo que reducen la dependencia energética de economías locales, esto se debe a que la utilización de estas energías renovables tiende a cubrir la necesidad de importar combustibles fósiles a economías extranjeras. Impulsando la independencia energética de la entidad que utilice estos métodos energéticos, lo que también aliviana la sumisión económica y política frente al país proveedor de estos combustibles fósiles, además, no se estaría comprometiendo la seguridad del suministro energético a terceras entidades.

1.1.1 TIPOS DE ENERGIAS RENOVABLES

Como se menciono anteriormente las energías renovables se encuentran presentes en cualquier parte del planeta, debido a que existen varios tipos de energías renovables, donde según la localidad o lugar que se desee generar un recurso energético, habrá una energía renovable presente para ser explotada. Debido a esto, a continuación, se presentarán brevemente los tipos de energías renovables que existen.

1.1.1.1 ENERGIA SOLAR

Este tipo de energía renovable consiste en aprovechar la radiación electromagnética procedente del sol mediante células fotovoltaicas, colectores solares o heliostatos. La propia energía solar puede ser fotovoltaica o térmica. La diferencia es que la energía solar fotovoltaica produce directamente electricidad a partir de la radiación solar. Mientras que la térmica consiste en aprovechar la energía solar para producir calor.

Este tipo de energía renovable es la que más posibilidades tienen a la hora de desarrollarse, puesto que el sol en mayor o menor medida puede ser aprovechado como fuente de energía en cualquier parte del planeta.

1.1.1.2 ENERGIA EOLICA

La energía eólica aprovecha la energía cinética del aire en movimiento gracias al uso de enormes turbinas eólicas ubicadas en superficies terrestres, en alta mar o en aguas dulces (Las turbinas eólicas deben estar sobre la superficie acuática). La energía eólica se ha usado durante milenios, pero las tecnologías, tanto terrestres como sobre el agua, han evolucionado en las últimas pocas décadas hasta convertirse en una potente forma de producir electricidad gracias a turbinas mas altas y a unos rotores que poseen diámetros de mayores proporciones.

Aunque las velocidades eólicas promedio varían marcadamente dependiendo del lugar y clima donde se encuentren ubicadas, el potencial energético de esta energía renovable supera la producción global de energía eléctrica, teniendo en cuenta, además, el potencial en la mayoría de las regiones del planeta para permitir un despliegue importante de esta energía basada en el viento.

1.1.1.3 ENERGIA HIDRAULICA O HIDROELECTRICA

Este tipo de energía renovable aprovecha el movimiento del agua para generar energía eléctrica. La obtención de esta tipología de energía se debe al aprovechamiento de la energía cinética y potencial de los saltos de agua, corrientes o mareas. La fuerza que provoca el movimiento del agua hacer girar una turbina conectada a un transformador, que convierte el movimiento en energía eléctrica.

La energía hidráulica es renovable, puesto que no contamina y debido al ciclo del agua se puede considerar inagotable. Sin embargo, la construcción de presas o sistemas de retención del caudal del agua si no se proyectan de forma ordenada, si provoca un impacto medioambiental al modificar el ecosistema.

1.1.1.4 ENERGIA GEOTERMICA

La energía geotérmica utiliza la energía térmica disponible del interior de nuestro planeta. El calor se extrae de unos depósitos geotérmicos a través de pozos u otros medios.

Los depósitos con estas temperaturas lo suficientemente elevadas y permeables de forma natural se denominan depósitos hidrotermales, mientras que los depósitos que cuentan con el suficiente calor, pero que utilizan medios de estimulación hidráulica, se llaman sistemas geotérmicos mejorados.

Una vez en la superficie, pueden utilizarse fluidos a varias temperaturas para generar la electricidad. Esta tecnología, que consiste en la generación de electricidad por medio de depósitos geotérmicos, ya resulta madura y fiable, y lleva mas de 100 años utilizándose.

1.1.1.5 ENERGIA MAREOMOTRIZ Y UNDIMOTRIZ

Estos 2 tipos de energías pese a estar presente en el mismo recurso hídrico se diferencian principalmente en la manera en la que producen energía, esto se debe a que la energía mareomotriz es la energía renovable que aprovecha el movimiento de las mareas, producido por la acción gravitatoria del Sol y la Luna.

En cambio, la energía undimotriz, produce energía proveniente de la acción que ejerce el viento sobre la superficie del mar y que genera ondulaciones en la propia superficie del agua. Unas ondulaciones cuya secuencia se puede sumar para producir el movimiento superficial periódico característico de las olas.

El método mas conocido de la energía mareomotriz para producir energía es mediante los generadores de corrientes de marea, los cuales aprovechan el movimiento del agua para convertir la energía cinética en electricidad.

Para la energía undimotriz, los encargados de generar energía eléctrica provienen de la energía presente en el oleaje del mar son los convertidores de energía undimotriz.

1.1.1.6 BIOENERGIA

La bioenergía se produce a partir de diversos materiales orgánicos, denominados biomasa, como la madera, el carbón, el estiércol y otros abonos utilizados para la producción de calor y electricidad, y los cultivos agrícolas destinados a biocombustibles

líquidos. La mayor parte de la biomasa se utiliza en las zonas rurales para cocinar, aportar iluminación y calor en estancias, y por parte de las poblaciones mas desfavorecidas en los países en desarrollo.

La energía creada a partir de la quema de biomasa forma emisiones de gases con efecto invernadero, aunque a niveles mas bajos que la combustión de los carburantes fósiles, como pueden ser el carbón, el petróleo o el gas. Sin embargo, la bioenergía debe aplicarse únicamente en ciertas situaciones puesto que sus impactos potencialmente negativos para el medioambiente se relacionan con un aumento a gran escala en las plantaciones de bioenergía y bosques, algo que genera una deforestación y un cambio en el uso de las áreas de tierra.

1.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Explicado en que consiste las energías renovables y los tipos que existen, a continuación nos adentraremos en una de las ramas de la energía renovable, en este particular caso en la obtención de energía a través de la energía solar, particularmente en la energía solar foto voltaica.

Para comenzar cabe indicar que la energía solar fotovoltaica es la electricidad generada por la conversión de la luz solar en energía eléctrica renovable mediante materiales semiconductores que presentan el efecto fotoeléctrico. Esto se debe gracias a una célula fotovoltaica o célula solar la cual convierte la energía de la luz directamente en electricidad, los paneles solares o fotovoltaicos a grandes rasgos están conformados por una extensa unión de estas células fotovoltaicas.

La diferencia entre la energía solar fotovoltaica a la energía solar térmica, se adhiere a como se utilizan las radiaciones solares, esto quiere decir que mientras la energía solar térmica utiliza la energía solar para generar calor y utilizar esta energía para climatizar y calentar ciertos líquidos, la energía solar fotovoltaica transforma directamente la radiación solar en electricidad.

Para generar electricidad se necesita captar la luz del Sol que atraviesa la atmosfera. Esta radiación llega con menos intensidad por fenómenos como la absorción, reflexión, difusión, y por las múltiples partículas que están suspendidas en la atmosfera.

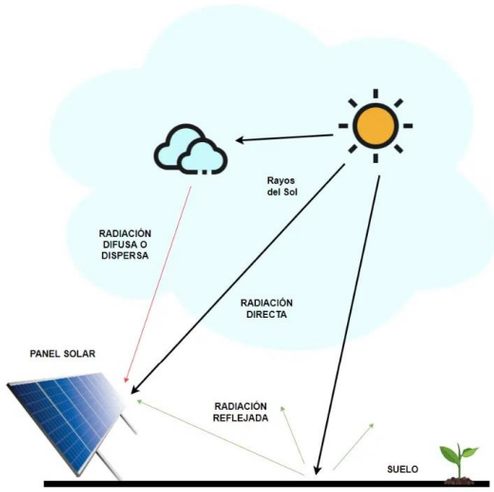

Figura n°1: Tipo de radiaciones solares

Fuente: OVACEN

Estas radiaciones fotovoltaicas energizan las células fotovoltaicas las cuales están hechas de un fino material semiconductor, normalmente de silicio, estas células fotovoltaicas permiten captar la energía del sol y convertirla en corriente continua gracias a 2 efectos presentes; primero tenemos el efecto fotoeléctrico el cual se produce cuando la luz (Fotones + Ondas) incide sobre una superficie de un material, a partir de cierto valor de intensidad se producen electrones. Estos electrones tienen una energía cinética asociada. A partir de esta interacción entre la luz y los materiales nace el segundo efecto, llamado fotovoltaico, al utilizar un material semiconductor fotosensible (Silicio), el cual permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica.

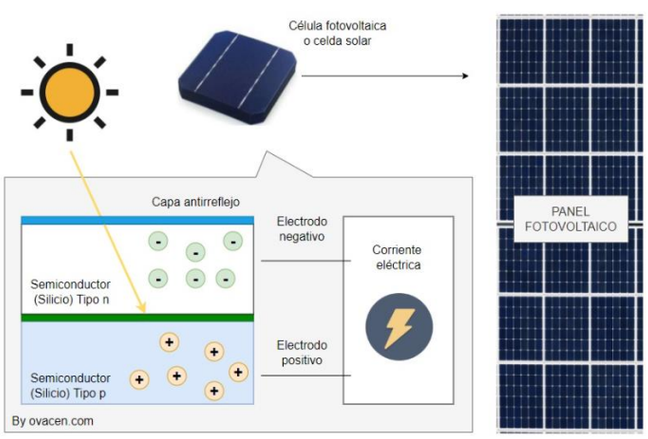

Figura n°2: Efecto fotovoltaico

Fuente: OVACEN

Esto quiere decir que cuando el sol brilla sobre la célula solar, se crea una tensión eléctrica entre la parte delantera y trasera de la célula fotovoltaica. Si la parte delantera y trasera están conectadas con un cable eléctrico, los electrones empiezan a moverse de

lado a lado los cuales al moverse generan energía eléctrica. Si se conectan varias de estas células solares se formaría un panel solar.

Para poder utilizar la energía generada de los paneles fotovoltaicos se utiliza un inversor solar, el cual se encarga de transformar la energía eléctrica de corriente continua que genera el panel fotovoltaico a energía de corriente alterna, esta corriente alterna presenta una tensión entre 220-240 voltios para poder ser utilizada en la red hogareña.

Las instalaciones de grandes números de paneles fotovoltaicos se les adhiere el nombre de centrales o plantas fotovoltaicas. Estas plantas fotovoltaicas se diferencian en 2 tipos, las plantas fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica, el cual consta de estar presentes donde la red eléctrica no llega y tiene como misión cubrir las necesidades eléctricas de un emplazamiento. Por otro lado, las Plantas fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica presentan 2 subproductos de esta; las centrales fotovoltaicas las cuales tienen la misión de apoyar el suministro eléctrico principal en caso de fallas y/o carencia de potencia eléctrica. Como segundo subproducto de las plantas fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica tenemos a las instalaciones de autoconsumo, donde la energía producida por los paneles solares es consumida por el mismo productor de esta.

1.3 HIDROGENO.

Las preocupaciones sobre el cambio climático global y la degradación medioambiental resultante del uso de los combustibles fósiles como fuentes primarias de energía, junto con las inquietudes sobre la seguridad en el suministro energético, han llevado a muchos analistas a proponer al hidrógeno como portador universal de energía para el futuro, ya que al igual que la electricidad, el hidrogeno es un trasportador excelente de energía, ya que puede producirse a partir de diferentes y abundantes precursores. El uso del hidrógeno como vector energético permite el desarrollo de un amplio número de tecnologías. A largo plazo, la incorporación del hidrogeno como nuevo vector energético, ofrece un escenario en el que se podrá producir hidrogeno a partir de agua, con electricidad y calor de origen renovable, y será posible su utilización para atender a todo tipo de demandas, tanto las convencionales del área industrial, como del área doméstica y del diario vivir.

1.3.1 PRODUCCION Y USO DEL HIDROGENO.

El hidrogeno es el elemento más ligero que existe. Se presenta de forma estable en moléculas biatómicas, H2, y en condiciones atmosféricas es un gas incoloro, inodoro y

no es toxico. La producción mundial de H2 se sitúa en torno a los 450 bcm (billones de metros cúbicos, 450x109 Nm3), lo que suponen unos 40 millones de toneladas anuales, según datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA O AIE).

Actualmente prácticamente el 96% del hidrogeno mundial se produce a partir de combustibles fósiles, principalmente por reformado de gas natural con vapor de agua. Tan solo un 4% del total se produce por electrolisis de agua que es un hidrogeno destinado a las aplicaciones que requieren una gran pureza de gas. En concreto, alrededor del 48% de la producción del hidrogeno en la actualidad está basado en el reformado de metano del gas natural mediante vapor (SMR), el 30% procede del reformado del petróleo/nafta en refinerías e industrias químicas, un 18% procede de procesos de gasificación del carbón, un 3,9% de la electrolisis de agua y un 0,1% de otras fuentes.

Por lo tanto, las tecnologías de producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles, especialmente a partir de gas natural, son tecnologías demostradas y actualmente en aplicación. Las principales desventajas que presentan son que en el proceso de producción de hidrógeno se emite también CO2, y que se están utilizando como materias primas recursos agotables, de los que se dispone de unas reservas limitadas y concentradas en pocos lugares del globo terráqueo.

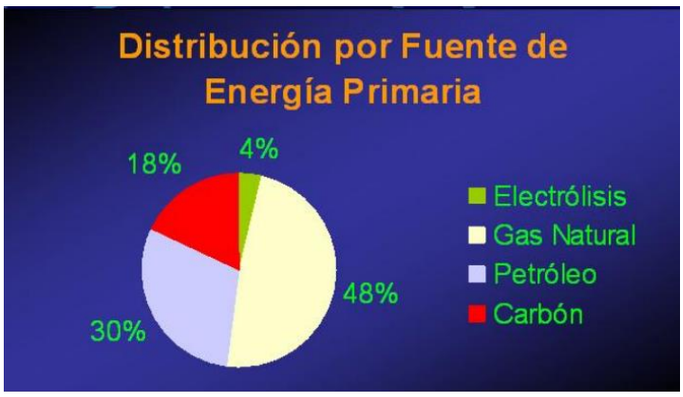

Figura n°3: Producción de hidrogeno industrial.
Fuente: UNICAMP 2004

El hidrógeno no es un recurso natural o una fuente de energía primaria, sino un portador de energía, también llamado “vector energético”. Dado que no puede ser tomado directamente de la naturaleza, el hidrógeno, al igual que ocurre con la electricidad, es necesario producirlo. Para ello hay que conseguir su separación de los compuestos de los que forma parte, pero para que este proceso de separación tenga lugar es necesario

aportar energía (fundamentalmente en forma de calor o de electricidad) que necesariamente deberá proceder de alguna de las fuentes primarias: fósil, renovable o nuclear.

Debido a lo mencionado anteriormente, ya que existen varias formas de obtener este preciado gas, se les ha denominado de cierto color ligado a su forma de obtención, ya que como se comentó anteriormente el hidrogeno es un gas incoloro.

La denominación de los colores del hidrogeno viene según la forma de producirlo y es un indicativo de la cantidad de CO2 que se libera durante el proceso de lo "limpio" que es. El hidrogeno negro o marrón es un producto de la gasificación del carbón y durante su producción se libera CO2.

El hidrogeno gris es producido a partir de la reformación de metano por vapor a partir de gas natural. Este es el sistema de producción más utilizado actualmente y también genera emisiones de CO2. Si todas o gran parte de estas emisiones de CO2 se capturan con un sistema de captura y almacenamiento de carbono (Carbon capture, utilisation and storage (CCUS) en inglés), entonces el hidrogeno generado se denomina hidrogeno azul. Este sistema de producción se considera de bajas emisiones, pero no completamente libre de ellas y se pretende que sea un sistema de transición para reducir las emisiones.

Finalmente, se encuentra el hidrogeno verde, producido directamente de la electrolisis del agua usando electricidad procedente de fuentes renovables como la fotovoltaica, la eólica o la hidroeléctrica. El hidrogeno verde se considera que es el único que, a la larga, puede funcionar en una economía totalmente descarbonizada.

Figura n°4: Colores del hidrogeno.
Fuente: MISION CAVENDISH.

Durante muchos años, el hidrogeno ha tenido múltiples aplicaciones, tanto en la industria como en la preservación del medio ambiente. Debido a esto y a las continuas innovaciones del uso de este gas, la demanda de hidrogeno se verá incrementada con el cambio o la creación de nuevos usos del hidrogeno en distintas áreas, incluso en nichos específicos de mercado como son las aplicaciones móviles.

Actualmente el 72% del hidrogeno producido internacionalmente para la industria se utiliza en la industria química/refinería y en la producción de amoniaco.

Se espera que aumente la generación de hidrogeno para aplicaciones de almacenamiento energético, más específicamente en 100 Mt exclusivamente para el sector de transporte al año 2050.

El hidrogeno se ha utilizado ampliamente en la industria, con una producción mundial estimada entre 41 y 45 Mt/año, especialmente en refinerías para el procesamiento de petróleo crudo y de esquisto, producción de metanol y amoniaco. También se utiliza en menor medida en la industria aeroespacial, en grasas y aceites, fabricación de metales, vidrios y electrónica.

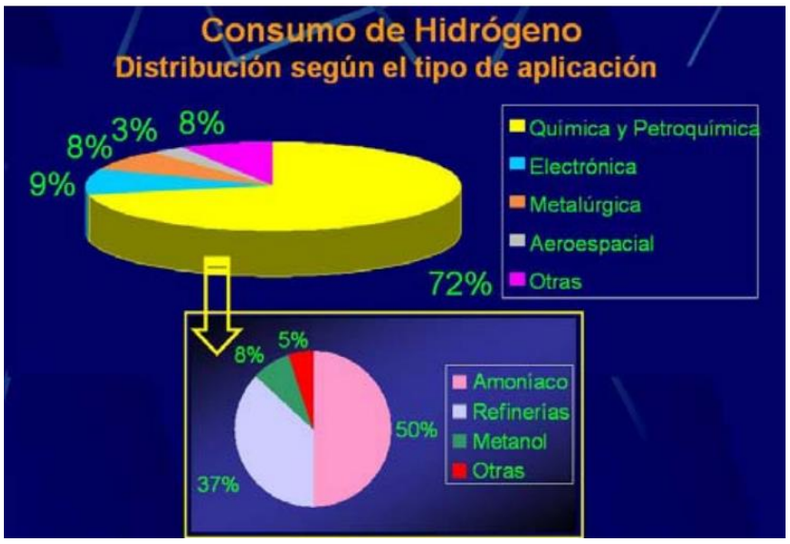

Figura n°5: Consumo de hidrogeno industrial

Fuente: UNICAMP 2004

El Hidrogeno que se produce y se distribuye en Chile se utiliza en refinerías para el hidrotratamiento, hidrocracking y desulfuración de los combustibles, además en la fabricación de aceites y margarinas, pulido superficial y el requemado de bordes en artículos de vidrio, como refrigerante y en tratamientos térmicos y termoquímicos.

Solo Linde Gas Chile S.A. e Indura S.A. tienen plantas de producción hidrogeno en el país, y la producción de hidrogeno comercial en Chile es de denominación gris debido a que se basa en la tecnología de reformación de gas natural importado (metano) con vapor.

1.4 HIDROGENO VERDE.

El hidrogeno es el elemento más liviano y abundante del universo, pero no puede ser encontrado en el planeta en estado puro, sino que unido a otros compuestos, como el agua (unión molécula de hidrogeno y oxigeno), hidrocarburos y compuestos orgánicos (uniones de hidrogeno y carbono), etc.

Dependiendo de la forma en la que se produce u obtiene este elemento gaseoso, se le asignara un color. El color Gris, correspondiente a cuando se extrae de combustibles fósiles como el carbón, petróleo o gas. El color Azul, proveniente de la producción de hidrogeno con bajas emisiones de carbono, como cuando se realiza el mismo proceso que el del gris, pero se usa tecnología que captura o aprovecha las emisiones de carbono durante este proceso de producción de hidrogeno. El color Verde, es cuando se obtiene

hidrogeno utilizando energías renovables y produciendo cero emisiones, generalmente separando moléculas de agua. El hidrogeno gris y azul hoy en día son más baratos de producir y está más extendido su uso que el del verde, actualmente el hidrogeno verde representa un 4% de la producción total de hidrogeno. Sin embargo, se espera que mediante avances tecnológicos y la disminución de costos de las energías renovables, disminuya la brecha de metodología de producción de hidrogeno.

Una de las aptitudes más fuertes que presenta el hidrogeno para usarlo como fuente de combustible es su alta densidad energética, lo que implica que, una baja cantidad de masa posee una gran cantidad de energía, siendo sorpresivamente más denso energéticamente hablando, que los combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural.

Por otro parte, uno de los inconvenientes que presenta el utilizar hidrogeno como combustible es su problemática de almacenamiento, puesto que, ocupa una gran cantidad de volumen, por lo que es necesario comprimirlo a presiones altas, o licuarlo a temperaturas mínimas, para que, de esta forma, sea almacenado de una forma más eficiente.

El hidrogeno verde se produce a partir de agua y energías renovables. La obtención por electrolisis a partir de fuentes renovables consiste en la descomposición de moléculas de agua (H2O) en oxigeno (O2) e hidrogeno (H2).

Dentro de los métodos para la producción de hidrogeno renovable (H2R) la electrolisis del agua es uno de los métodos que actualmente se están desarrollando profundamente. La electrolisis del agua tiene grandes ventajas, como la alta eficiencia de la celda y la mayor tasa de producción de hidrogeno de alta pureza, superior al 99,99%, siendo una ventaja para su posterior uso en celdas de combustible. Este proceso puede clasificarse como cuatro tipos de función de su electrolito, las condiciones de funcionamiento y los agentes iónicos (OH, H, O), sin embargo, los principios de funcionamiento son los mismos. Los cuatro tipos de métodos de electrolisis son:

- Electrolisis de agua alcalina (AWE).
- Electrolisis de oxido solido (SOE)
- Celdas de electrolisis microbiana (MEC)
- Electrolisis de agua PEM.

Para los fines de este proyecto nos adentraremos en el tipo de electrolisis de agua tipo PEM, señalando sus reacciones fundamentales y sus ventajas y desventajas.

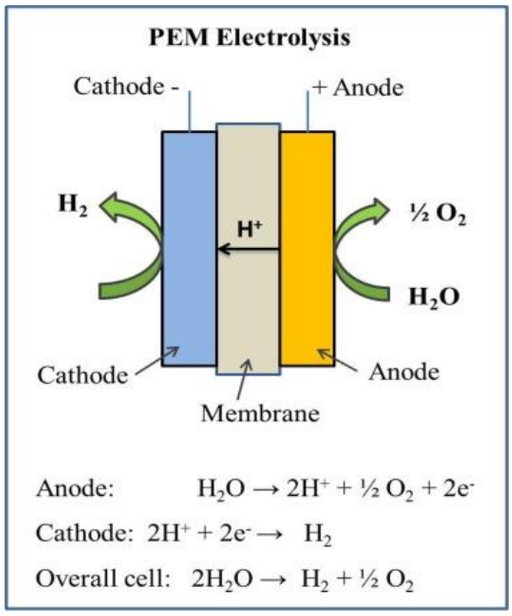

Figura n°6: Ilustración esquemática de la electrolisis de agua PEM.

Fuente: ScienceDirect.

1.4.1 ELECTROLISIS POLIMERICA (PEM).

La electrolisis PEM (de su denominación en ingles protón exchange membrane) se basa en la conducción de los protones a través de una membrana fabricada con un polímero fluorado y sulfonado, en donde la membrana más utilizada para la electrolisis del agua es el acido perfluorosulfónico también conocido como (PFSA) Nafion. Dependiendo de los requerimientos de la aplicación de la membrana puede variar su grosor, la cual está en el rango de 25-250µm.

Los componentes de un electrolizador PEM son la membrana, los electrodos con catalizadores (generalmente hechos de platino e iridio) y las capas de difusión de gases (GDL, Gas Difussion Layer). La función de estas últimas es proporcionar un camino a los gases entre electrodos y canales de flujo, transmitir calor durante la operación en la celda electroquímica, y aportar resistencia mecánica al conjunto de membranas.

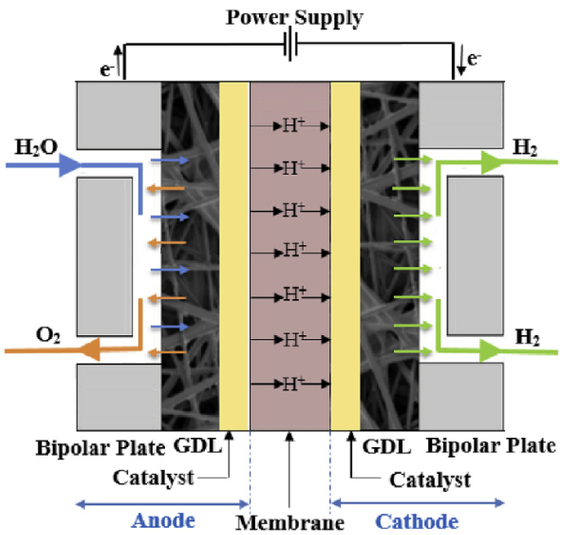

Figura n°7: Vista esquemática del electrolizador PEM

Fuente: ScienceDirect.

Los polímeros conductores de iones que forman la membrana tienen un doble objetivo: en primer lugar, transportar cargas eléctricas entre cátodo y ánodo, y en segundo lugar separar los productos formados en cada electrodo. El agua líquida se consume en el ánodo formando oxígeno y protones solvatados con moléculas de agua, los cuales se transfieren al catado a través de la membrana por efecto del campo eléctrico aplicado. Una vez en el cátodo, cesa la solvatación, produciéndose la reacción de formación de hidrógeno a partir de dos protones.

Cátodo:

$$2\,H^+ + 2\,e^- \rightarrow H_2$$

Ánodo:

$$H_2O \rightarrow \frac{1}{2}\,O_2 + 2\,H^+ + 2\,e^-$$

La membrana, al estar tratada con un ionómero ácido, hace que el uso de catalizadores se vea limitado a metales de transición raros, que ante condiciones ácidas ofrecen un comportamiento estable: rodio, rutenio, platino, iridio y óxidos de estos. En la tecnología actual se emplea platino en el cátodo y óxido de iridio en el ánodo. Las presentes y futuras investigaciones tienden a buscar catalizadores que mejoren la eficiencia de ambos procesos (oxidación del agua y reducción del protón) y reduzcan los costes.

Se tienen dos placas de titanio u otros materiales que delimitan la celda electroquímica; entre ellas se encuentra el ensamblaje membrana-electrodo (MEA, Membrane Electrode Assembly). El agua circula por los canales mecanizados en las placas de titanio. Las mezclas bifásicas de agua y oxígeno, y agua e hidrógeno, se recogen por los escapes del ánodo y del cátodo, respectivamente.

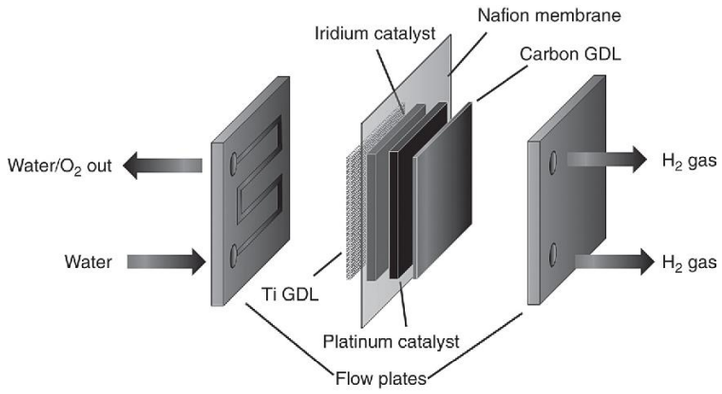

Figura n°8: Partes del electrolizador PEM

Fuente: Chisholm and Cronin, 2016

Entre las placas de titanio y la MEA hay un hueco ocupado por colectores de corriente; su objetivo es transmitir la electricidad desde las placas de titanio hasta cada uno de los lados de la MEA. Además, su porosidad permite el paso al agua líquida y a los gases. Esta capa suele estar formada por partículas de titanio u otro metal inerte.

Entendido el funcionamiento a grandes rasgos del electrolizador PEM a continuación se presenta una breve tabla de comparación frente el electrolizador PEM y el alcalino (AWE).

	ELECTROLIZIS POLIMERICA (PEM)	ELECTROLIZIS DE AGUA ALCALINA (AWE).
VENTAJAS	• Altas densidades de corriente. • Eficiencia de alto voltaje. • Buen rango de carga parcial. • Respuesta rápida del sistema. • Alta pureza del gas • Operación dinámica.	• Económico. • Catalizadores no nobles. • Tecnología bien establecida. • Estabilidad a largo plazo.
DESVENTAJAS	• Ambiente acido corrosivo • Posible baja durabilidad • tecnología nueva y parcialmente establecida.	• Bajas densidades de corriente. • Baja purificación del hidrogeno debido al cruce de gases. • Bajo rango de carga parcial. • Baja dinámica. • Bajas presiones operativas. • Electrolito liquido corrosivo.

		• Alto costo de los componentes.

Tabla n°1: Ventajas y desventajas de electrolisis PEM vs Alcalino (AWE)

Fuente: Hydrogen Production by PEM water electrolysis

1.5 PILA DE COMBUSTIBLE.

A principio del siglo XIX se introduce el concepto de pila de combustible por Sir Humphrey Davy. Poco después, en 1838, Sir William Robert Grove descubrió que la electricidad puede generarse mediante la inversión de electrolisis de agua al utilizar oxigeno e hidrogeno, esto dio pie invento a la primera pila de combustible. En Ingles se denominó (Fuel Cell).

El termino (celda de combustible) fue utilizado por primera vez medio siglo después por Ludwig Mond y Carl Langer en los años 1889. La primera celda de combustible comercial fue utilizada por General Electric mediante la NASA en el proyecto espacial Gemini en los años 60, los cuales mediante la carrera espacial y los avances tecnológicos de estos años. Esta tecnología permitió abastecer de electricidad y agua a las naves espaciales de aquella época, tal como la mítica nave de la misión Apolo 11.

Figura n°9: Pila de combustible Apolo 11.

Fuente: Ryanseper.

La pila de combustible, o celda de combustible, es una fuente de conversión directa de energía electroquímica a energía eléctrica. Esta transforma la energía química de combustibles, como el hidrogeno o el metanol, en electricidad de corriente continua. Esto lo consigue utilizando medios electroquímicos con el oxígeno del aire.

1.5.1 TIPOS DE PILA DE COMBUSTIBLE.

Los diferentes tipos de celdas de combustible han tenido una diferente evolución debido a la complejidad de su tecnología y a las diferentes aplicaciones. Los usos son variados como, por ejemplo: los dispositivos electrónicos portátiles, sistemas de generación de energía renovable, y la industria automotriz.

Actualmente se pueden destacar seis tipos principales de pilas de combustible:

- Pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC).
- Pila de combustible de carbonato fundido (MCFC).
- Pila de combustible de membrana de intercambio de protones (PEMFC).
- Pila de combustible de metanol directo (DMFC).
- Pila de combustible de oxido metálico solido (SOFC).
- Alcalinas (AFC).

Para la realización de este proyecto se opto por la pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC), puesto que presenta una buena sinergia con la infraestructura presente en la isla y la demanda energética que esta presenta.

1.5.1.1 PILA DE COMBUSTIBLE DE ACIDO FOSFORICO (PAFC).

Estas pilas de combustible suelen emplear como combustible un hidrocarburo, como el gas natural o la gasolina, que posteriormente es reformado, aunque actualmente por el intento de eliminar la huella de carbono en el planeta se adaptó para utilizar hidrogeno directamente.

Esta pila de combustible está constituida por un electrolito de ácido fosfórico contenido en una matriz de carburo de silicio trabajando cerca de los 200°C. Utilizando electrodos de carbono poroso que contienen platino, estas pilas de combustibles fueron las primeras en ser comercializadas, no obstante, no se utilizan en torno al área automovilística debido a su alto costo económico y gran peso. Sin embargo, están muy desarrolladas tecnológicamente, por lo que se emplean abundantemente en plantas estacionarias de generación eléctrica distribuida.

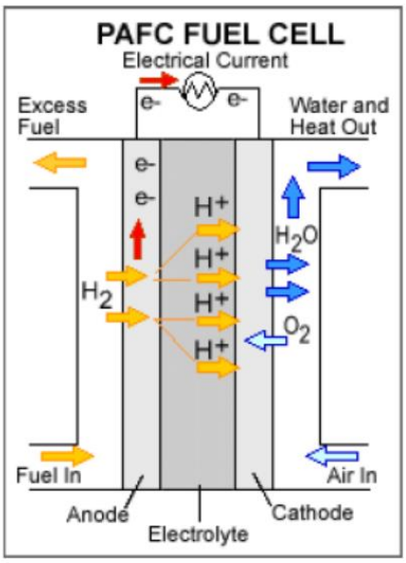

Figura n°10: Esquema célula de combustible (PAFC)

Fuente: SET-TE pilas de combustible.

1.6 ESTADO DEL ARTE EN CHILE Y EN EL MUNDO.

Mencionado anteriormente la electrolisis de agua es uno de los métodos para la producción de hidrogeno verde o renovable que hoy en día se está desarrollando ampliamente. Puesto como podemos observar en la siguiente imagen existen varios métodos para la obtención de este preciado gas llamado hidrogeno.

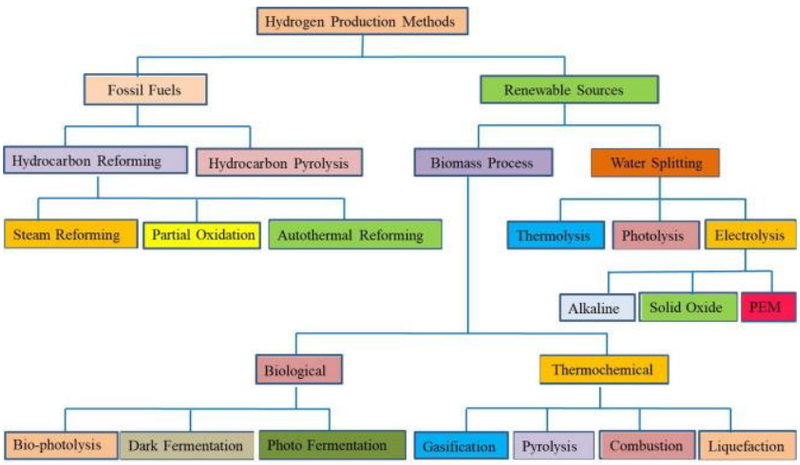

Figura n°11: Varios métodos de producción de Hidrogeno.

Fuente: Sciencedirect.

Dentro de los métodos de producción de hidrogeno en los últimos años varios países y potencias del mundo se han puesto la misión de descarbonizar el medio ambiente donde se desarrollan, intentando utilizar cada vez más sistemas energéticos renovables y no dañinos al medio ambiente los cuales tengan poco o nada de desechos y contaminantes ambientales, para que de esta forma el índice de la huella de carbono baje a estándares aceptables y/o desaparezca.

1.6.1 HIDROGENO VERDE EN SUECIA.

Debido a esto se ha impulsado estos últimos años al desarrollo de nuevos potenciales recursos energéticos con baja o sin huella de carbono, en este caso específico se abarcará de los desarrollos tecnológicos creados para obtener el hidrogeno renovable (H2R) siendo más específico en el hidrogeno verde obtenido por electrolisis. En donde mostraremos los proyectos implementados por países europeos como en nuestro país, los cuales nos demostrara como se están implementando estas nuevas tecnologías para desarrollar energías limpias y renovables y también, cuan factible es la utilización de este recurso para explotar y utilizar.

Uno de los icónicos productores de hidrogeno verde que están siendo premiados por su trabajo en producir nuevos métodos de energía y la explotación de esta nueva invención del hidrogeno verde, es BIG HIT ubicada en Escocia.

BIG HIT se basa en los cimientos establecidos por la iniciativa Orkney Surf'n' Turf, que está encargada de la producción de hidrogeno verde en las islas de Eday y Shapinsay utilizando energía eólica y mareomotriz.

La electricidad renovable generada en las islas de Eday y Shapinsay es utilizada por electrolizadores para producir hidrogeno, por electrolisis de agua. Luego, este hidrogeno se almacena como gas a alta presión en los remolques tubulares, que se pueden transportar a la isla con mayor dimensión llamada Mainland.

Figura n°12: Línea de producción y transporte del hidrogeno verde de la planta en Escocia
Fuente: BIGHIT.EU

BIG HIT utiliza dos electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM) de última generación. El electrolizador de la isla de Shapinsay tiene una capacidad de 1MW y el electrolizador de la isla de Eday tiene una capacidad de 0,5 MW, ambos ubicados cerca de los activos de generación renovable. El hidrogeno actúa como un medio de almacenamiento de energía que luego se puede convertir nuevamente en calor y en energía para alimentar edificios y embarcaciones en el puerto de Kirkwall, así como el combustible para la operación de vehículos de hidrogeno de cero emisiones en Kirkwall y sus alrededores.

Estos dos electrolizadores PEM producirán alrededor de 50 toneladas de hidrogeno cada año a partir de energías renovables limitadas. Este hidrogeno de “carbono cero” se puede usar para calentar edificios locales y también se transporta en un ferry marítimo a Kirkwall en 5 camiones cisterna de hidrogeno. En Kirkwall, una celda de combustible de hidrogeno de 75kW suministra calor y energía para varios edificios portuarios, un puerto deportivo y 3 transbordadores (siempre que estén atracados en el puerto de Kirkwall). Y, por último, la nueva estación de repostaje de hidrogeno en Kirkwall alimenta los 5 vehículos de carretera utilizados por el personal del consejo de la Islas Orcadas, estos vehículos están alimentados por una pila de combustible de hidrogeno Symbio los cuales son recargados continuamente con el hidrogeno proveniente de las otras islas.

1.6.2 HIDROGENO VERDE EN CHILE.

En chile en cambio, Enel Green Power Chile ha protagonizado el desarrollo del hidrogeno verde desde hace años. Cerro Pabellón, JOINT VENTURE entre Enel Green Power y ENAP es la primera planta geotérmica del país y allí ya se produce hidrogeno

verde desde el año 2017. Se utiliza para energizar de manera continua e ininterrumpida la planta de tratamiento de agua y parte de los consumos del campamento base de Cerro Pabellón. Esta solución reemplazo el uso del petróleo diésel, que hubiese sido la única opción para energizar este campamento que se encuentra tan alejado de centros urbanos.

Para indagar más sobre esta intervención que se hizo en el campamento del Cerro Pabellón, se debe saber cuáles son las cualidades presentes que existían en este campamento antes de que se haya aplicado la intervención del hidrogeno verde.

Como data se obtiene que este campamento está situado a una altitud de 3.850 metros sobre el nivel del mar el cual puede llegar albergar hasta 600 trabajadores. La energía consumida por el campamento era suministrada por generadores Diesel: 2x550 KVA y 2 x660 KVA en operación Off-grid desde el cuarto trimestre del 2015.

Los objetivos de este proyecto eran de hacer una demostración real de que una planta renovable hibrida, basada en tecnología de almacenamiento de hidrogeno junto con baterías de litio y módulos fotovoltaicos, eran suficientes para suministrar electricidad a micro redes remotas que operan en modo isla 24/7 y también de aseverar que es posible reemplazar sistemas de generación basados en combustibles fósiles, como lo son los generadores diésel.

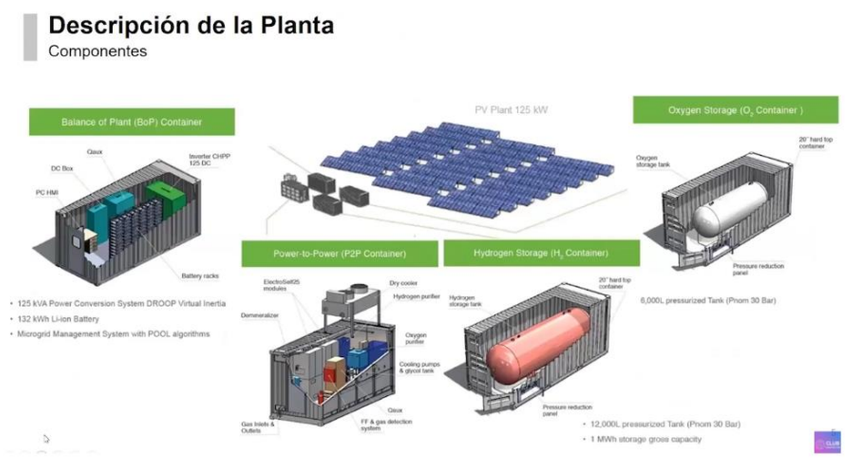

Figura n°13: Descripción de los componentes presentes en la planta hibrida.

Fuente: Misión Cavendish Tour.

Esta planta hibrida 100% renovable, cubrió la energía necesaria para la planta de tratamiento de agua y del edificio central del campamento de trabajadores del Cerro Pabellón reduciendo el consumo de combustible diésel a más de un 90%.
Las principales innovaciones de este proyecto fueron las siguientes:

- Almacenamiento Hibrido: El almacenamiento hibrido es un sistema de hidrogeno power to power (P2P) que proporciona una gran capacidad de almacenamiento de larga duración y un sistema de baterías de alta eficiencia para maximizar las variaciones diarias de energía.

- Alta eficiencia de conversión y reducción de costos: El sistema de baterías y el sistema de hidrogeno P2P se alimentan directamente de un solo conversor DC conectado a la generación de energía de la planta fotovoltaica. Solo hay un inversor bidireccional para todo el sistema.

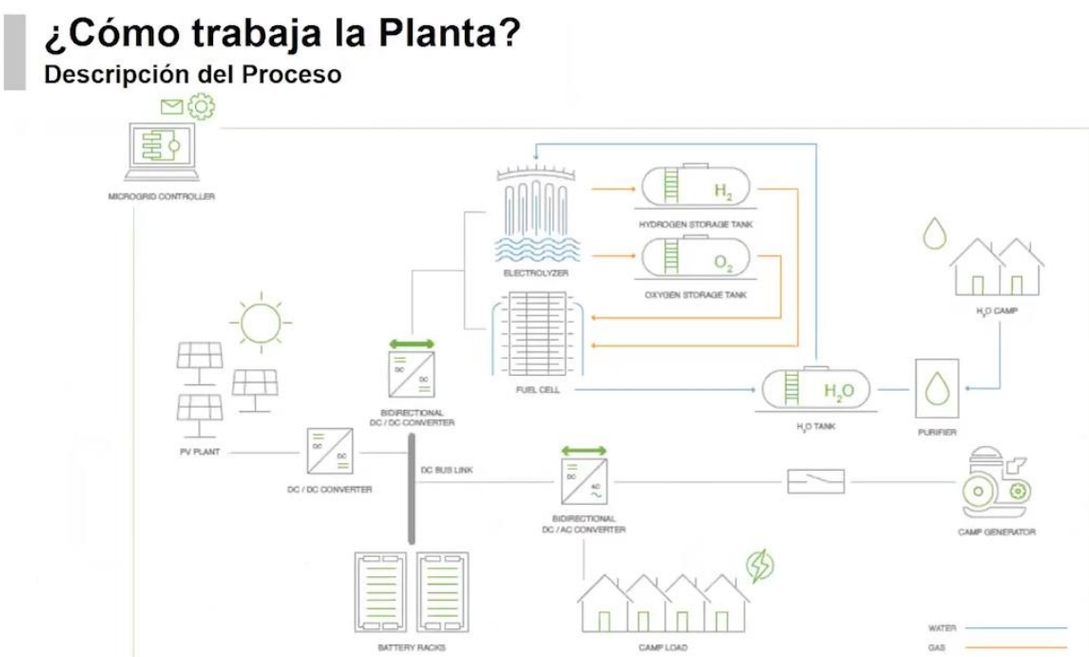

Figura n°14: Descripción del proceso de la planta hibrida.
Fuente: Misión Cavendish Tour.

Plug & Play: Esto quiere decir que al utilizar container como módulos de la planta hibrida estos al ser fáciles de montar y desmontar pueden ir escalando según aumente la demanda energética del campamento, permitiendo que la planta hibrida siga creciendo para poder suplir la demanda requerida.

El sistema de hidrogeno POWER TO POWER (P2P) consiste en un electrolizador de agua, un tanque de almacenamiento de hidrogeno comprimido, un tanque de oxígeno y una celda de combustible. El electrolizador utiliza electricidad para generar hidrogeno a partir del agua. El hidrogeno se almacena en tanques de alta presión y se envía a la celda de combustible de hidrogeno para generar electricidad cuando se requiera.

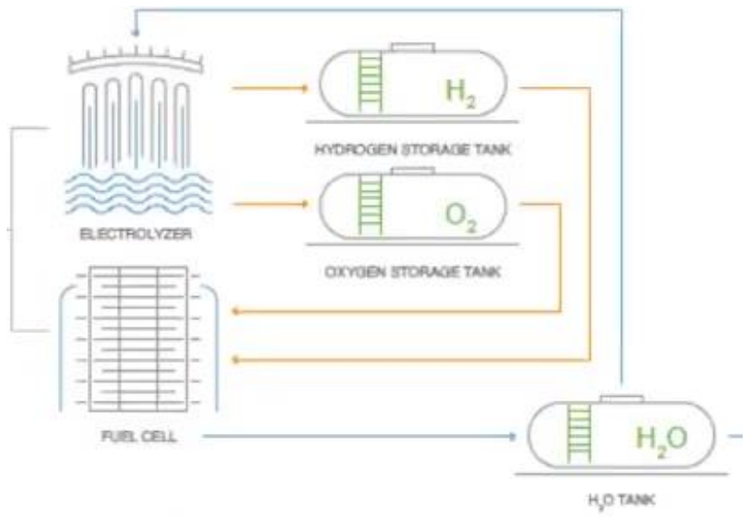

Figura n°15: Sistema de hidrogeno P2P
Fuente: Misión Cavendish Tour.

1.7 ISLA MOCHA CRONOLOGIA.

Isla Mocha es un territorio insular perteneciente a la Octava Región, Comuna de Lebu, Chile, Ubicada a 34 Kms. al Oeste de la localidad de Tirúa con una población aproximada de 800 habitantes, llamados “Mochanos”.
Con no más de 48 Km^2. de superficie, la isla presenta una geografía en la que destaca una cadena montañosa cubierta de bosque nativo, orientada de norte a sur y que en su punto más elevado alcanza los 390 mts. Esta es un área y protegida y administrada por Conaf.
La principal actividad económica de los mochanos es la pesca y extracción de mariscos y productos del mar, aunque en los últimos años, el turismo ha aumentado considerablemente gracias a sus números atractivos y por ser un lugar que aún se mantiene libre de contaminación.

La isla Mocha ubicada a 34 km al oeste de Tirúa, aunque administrativamente dependiente de la comuna de Lebu con una superficie de 48 Km^2 en la actual Región del

Bío Bío, comuna de Tirúa, provincia de Arauco. Fue “descubierta” por los españoles en 1544. En ese entonces, la isla Mocha estaba poblada por los lafkenches, una tribu mapuche.

Entre los años 1685 y 1687 más de 500 lafkenches fueron expulsado de esta isla sagrada para su tribu por los españoles, lo que constituye uno de los actos de desarraigo más relevantes y violentos del chile colonial, por una medida geopolítica colonial, la que, de acuerdo con algunos relatos, los españoles acusaban a los residentes de la isla Mocha a colaborar con los piratas y corsarios ingleses y holandeses que arribaban al lugar en busca de alimento y descanso.

Después de permanecer vacía por más de 160 años, la isla fue repoblada por los chilenos a partir de 1833, debido a intereses económicos y políticos.

El 12 de mayo del año 1988 la reserva nacional isla mocha fue creada y posee una superficie de más de 2.100 hectáreas, que abarca alrededor del 45% de la superficie insular. La parte alta está formada por dos cordones montañosos que se distribuyen paralelos a la costa y recorren la isla de norte a sur. En la reserva nacional se pueden encontrar 2 biomas, en el sector bajo y plano de la isla, está constituido por plantas anuales y matorrales adaptados al viento y a las condiciones salinas que predominan casi todo el año. En el sector más alto existe una formación boscosa muy similar al tipo forestal valdiviano. La parte alta está conformada por dos cordones montañosos orientados en forma longitudinal a la costa y de norte a sur, topográficamente muy accidentados que alcanzan una altura de 340 metros sobre el nivel del mar. En este bosque nacen numerosas vertientes que surten de agua a la población actual de la isla.

1.8 RECURSO HIDRICO ISLA MOCHA.

Como se mencionó anteriormente los pobladores de esta isla obtenían recursos hídricos mediante las vertientes que se forman en el bosque de la isla para poder subsistir, no fue sino hasta el año 2013 donde se implanto el sistema de Agua potable rural en la isla (APR) el cual fue situado en la parte norte de la isla, con un total de 191 arranques de agua, beneficiando a un estimado de 725 pobladores.

En que consiste un sistema de agua potable Rural Los sistemas de APR son administrados, mantenidos y operados en comités o cooperativas, quienes reciben para ello asesoría y asistencia del Estado. Además, para el funcionamiento del servicio se

debe aplicar una tarifa por los consumos de agua potable que garantice su sustentabilidad.

La operación del sistema consiste en adquirir y/o producir agua potable, en las condiciones técnicas y sanitarias establecidas en las normas respectivas, hasta su entrega en cada hogar, según el siguiente esquema:

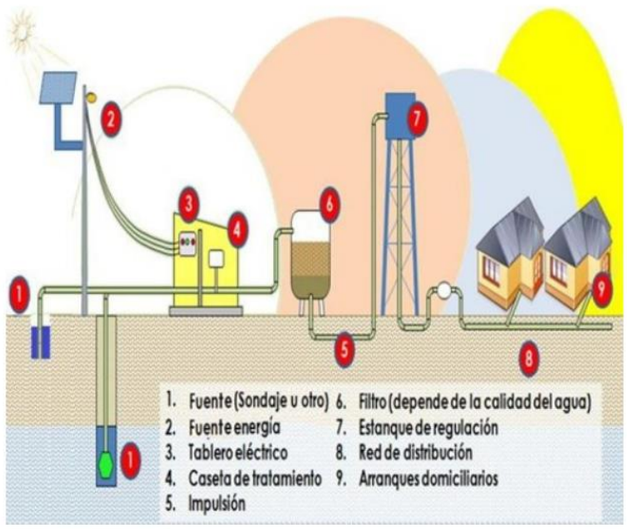

Figura n°16: Esquema de funcionamiento de APR
Fuente: Ministerio de Obras Publicas de Chile.

Con esto el ministerio de obras públicas cumple con los objetivos de dotar de agua potable a la población rural, según calidad, cantidad y continuidad de acuerdo con la norma chilena NCh 409/01 Of. 05. Y también de obtener de los habitantes beneficiados una participación responsable y permanente, para que sea la propia comunidad organizada, quien efectué la administración del servicio una vez construido.

Lastimosamente, aunque este sistema de APR beneficio a un gran porcentaje de habitantes de la isla, hubo un porcentaje de habitantes que por diferentes circunstancias no fueron beneficiarios de este sistema hídrico los cuales tienen que seguir obteniendo este recurso de forma rustica en las vertientes conformadas en el bosque de la isla.

1.9 ENERGIA EN LA ISLA MOCHA.

La isla Mocha con sus más de 800 habitantes no presento una infraestructura de red eléctrica en la zona si no hasta los años 2014 y 2015 en donde se puso en marcha un proyecto de sistema eléctrico aislado en la isla Mocha.

Hasta antes del 2015 los habitantes de la isla sufrían de una restricción severa respecto a las condiciones de iluminación y de bienestar general debido a que la isla no poseía infraestructura para energizar la isla, por lo que los habitantes de la isla tenían que satisfacer sus necesidades energéticas básicas con generadores a combustible propios los cuales solo podían hacerlos funcionar unas horas al día.

Debido a esto en el año 2014 – 2015 el proyecto, liderado por el gobierno regional del Biobío permitió sellar dos pozos, los que están conectados a un gaseoducto de 100 metros y 2 pulgadas, el que alimenta una sala eléctrica. Esta sala cuenta con tres grupos electrógenos. Estos tres grupos están con sincronismos. Con la labor de que funcione el grupo electrógeno de 90 kVA en paralelo con el de 250 kVA; si aumenta el consumo por sobre los 90 kVA, deja de funcionar el generador de 90 kVA y pasa a funcionar el de 250 kVA, y si en algún minuto no existe gas, se tiene el grupo electrógeno diésel que está respaldado por un estanque de 15.000 litros, que puede llegar a durar 20 días como máximo.

La sala eléctrica genera 380 V energía que se pasara por un transformador elevador a una red de media tensión de 13,2 kV. Alrededor de la isla se instalaron 70 transformadores pequeños de 3kV, que bajaran la potencia de voltaje hacia las casas. En los hogares se hizo una instalación eléctrica que cuenta con seis centros de iluminación y seis centros de enchufes, con un límite de potencia de 10 A por casa.

El sistema con el cual los habitantes de la isla Mocha demandaran la energía que consuman también es innovador, ya que se implementó un sistema de prepago. Los empalmes que están instalados están con un sistema de prepago que es único en Chile, teniendo una función similar a como se desempeñan otras entidades como tarjetas prepagas de Bio tren en la región del Biobío o como la propia tarjeta BIP en la región metropolitana. En donde los habitantes de la isla tendrán que dirigirse al local de preventa de energía y comprar tantos pesos de energía, luego de esto se cargara la tarjeta con respectivo monto y se llevara al medidor de la casa en donde se inyectara el monto cargado a la tarjeta dentro del medidor.

Otro aspecto interesante es que la isla no cuenta con un sistema de alumbrado público, ya que en la isla mocha habitan fardelas blancas, aves migratorias que vuelan de noche y que podrían verse afectadas por este tipo de instalaciones. Para que de esta forma no se logre alterar el atractivo turístico del lugar.

1.9.1 COMO OPERA EL SISTEMA.

El sistema opera alimentado, a partir del pozo gasífero mocha norte 3, a dos moto-generadores a gas, uno de 250 kVA y otro de 90 kVA, ubicados en una caseta de generación eléctrica que se encuentra en un sector aledaño al pozo. Existe un tercer generador eléctrico de 250 kVA, en base a diésel, que actuara como respaldo ante futuras mantenciones o frente a cualquier contingencia.

Para este sistema, se construyó e instalo un sistema de interconexión de 70 metros de longitud, conformado por ductos enterrados a un metro de profundidad, y un sistema de tratamiento de gas -estación de proceso- que incluye: un sistema de filtrado de partículas sólidas, un sistema de regulación de presión en etapas (la presión de salida del gas del pozo se reduce en etapas sucesivas hasta alcanzar la presión de entrada a los generadores de gas); un separador gas/liquido, un sistema de odorización y un sistema de medición del caudal del gas.

Adicionalmente, con el objeto de reforzar las condiciones de integridad operacional en las instalaciones ya existentes, se construyó un pretil para la antorcha del pozo y se instaló un cerco perimetral en torno a ella.

2CAPITULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

Por lo indicado anteriormente pese de comenzar los planes de repoblar la isla desde la primera mitad del XIX los ciudadanos que han vivido en la isla han sufrido grandes dificultades principalmente debido a la lejanía que tiene la isla al continente americano, que pese a no ser un gran trecho que recorrer a diferencia de otras islas del país, los habitantes de la isla han tenido que subsistir gracias a su propio esfuerzo por el escaso apoyo que entrega el estado chileno, como se comentó anteriormente la isla no presentaba un sistema de agua potable si no hasta el año 2013, gracias a un proyecto de sistema de agua rural (APR) que comenzó a impulsar el estado chileno. También hay que comentar que, hasta antes del 2014, los habitantes solo podían energizar sus hogares con un generador diésel de uso propio, por lo que los habitantes de la isla que no podían financiar la compra de un generador y/o el combustible para este, simplemente no podía energizar su hogar.

Luego que en el año 2015 comenzó en marcha el sistema para generación eléctrica en la isla mocha llamado Mocha norte 3, el cual este proyecto impulsado principalmente por ENAP tenía como objetivo alimentar con generación eléctrica a más de 250 hogares, unas 800 personas en total, que viven en la isla. Lastimosamente por problemas de permisos, transparencias y burocracias este proyecto nunca se puso en marcha pese a contar con toda su infraestructura implementada y lista para operar.

Como solución a esta problemática que se presentó en proyecto de “Mocha norte 3”, se decidió energizar la isla con el generador diésel de 250kVA que estaba previamente destinado a respaldar los otros 2 moto generadores de gas. Debido a esto, tendría que haber un buque constantemente transportando diésel desde el continente en dirección a la isla para luego descárgalo en el muelle de la isla y así poder alimentar este generador.

Pese a las dificultades de los habitantes de la isla, los problemas no se hicieron esperar para los mochanos. Puesto que en agosto del año 2021 varias fuentes de prensa indicaron que se podría suspender el suministro eléctrico de la isla debido a millonaria deuda que presentaban los representantes de la isla y la municipalidad de Lebu con la empresa que suplía el combustible diésel, la cual consistía en una deuda acumulada de unos aproximados 800 millones de pesos debido al incumplimiento de pago desde hacía 20 meses.

Presente esta problemática de deudas e infraestructura el suministro de la isla se ha ido interrumpiendo parcialmente dejando a los habitantes con tan solo pares de horas de energización en su día a día, los cuales en días de infortunios estas horas de energización tienen una intermitencia de más de 24hrs, afectando el diario vivir de los habitantes de esta isla.

Debido a esto y gracias a la data presentada por el Ministerio de Energía de Chile sobre información del sistema eléctrico aislado de la isla mocha, se nos señala que el consumo anual de energía eléctrica que se presenta en la isla es de un aproximado de 220.181 kWh. Este dato pese a sufrir variables y ser solo una estimación del consumo eléctrico anual de la isla, nos informa de cuál es el aproximado de energía eléctrica que de suplir nuestra planta hibrida de energía.

2.1.1 SUSTITUIDOR ENERGETICO

Presentada la problemática energética en la que se encuentra la isla en la actualidad, se debe escoger un recurso energético que sea practico y versátil de explotar para poder suplir nuevamente de energía eléctrica a la isla, teniendo en cuenta que la nueva forma de energizar la isla no sea de forma nociva para los seres vivos presentes en la isla, por lo que esta planta energética no podrá modificar ni dañar terrenos y fauna presente en el archipiélago. Para ello mediante la siguiente tabla se presentarán las opciones presentes que se pueden utilizar en la isla, señalando los pros y contra de utilizar tal forma de energizar la isla.

Tipo de energía	Ventajas	Desventajas
Diesel	• Infraestructura ya instalada (operadores presentes). • Equipos fiables. • Equipos baratos.	• Energía que genera huella de carbono. • Problemas con proveedores. • Costo del combustible constantemente en alza. • Intermitencias en el suministro. • Se debe ser cuidadoso con el combustible almacenado.
Energía eólica	• Energía renovable y limpia. • Alto índice energético debido a las fuertes ventiscas presentes en la isla. • Energía sostenible. • Aerogeneradores cada vez más eficientes. • Mantenimiento	• Impacto ambiental negativo debido al alto índice de accidentes de mortalidad de aves migratorias. • Pueden generar ruidos molestos. • Pueden resultar desagradables a la

	económico del sistema. • Reduce la huella de carbono.	vista. • Requiere sistemas de almacenamiento energético.
Energía Mareomotriz	• Energía renovable y limpia • Energía predecible y gestionable • Larga vida útil • Eficientes obteniendo energía incluso a bajas velocidades marítimas. • Reduce la huella de carbono.	• Impacto medioambiental negativo debido a la implementación de una bahía cerrada o presa. • Tecnología cara. • Posible incidencia con los depósitos gasíferos dispersados en las costas de la isla. • Impacto medioambiental negativo en la flora y fauna de los fondos marinos donde se instale esta energía.
Energía undimotriz	• Reduce la huella de carbono. • Energía renovable y limpia. • Energía altamente eficiente. • Energía silenciosa. • Energía eficiente y rendidora.	• Impacto medioambiental negativo debido a la implementación de columnas de agua y conversores oscilantes, lo que necesita una modificación en las costas donde este implementada. • Posible incidencia con los depósitos gasíferos dispersados en las costas de la isla. • Tecnología cara. • Equipos constantemente en desgaste.
Energía solar	• Reduce la huella de carbono. • Energía renovable y limpia. • También genera energía calórica. • Energía silenciosa • No necesita modificaciones terrenales para implementarse • Bajo o nulo impacto medioambiental.	• Coste inicial elevado. • Requiere gran número de módulos para producir grandes cantidades de energía. • Requiere sistemas de almacenamiento. • Índice energético relativamente normal o medianamente bajo. • Cambios climáticos pueden afectar negativamente su rendimiento.

Hidrogeno verde.	• Reduce la huella de carbono. • Energía eficiente. • Energía renovable y limpia. • Bajo o nulo impacto medioambiental. • Tecnología constantemente en evolución a la eficiencia. • Energía almacenable. • Versatilidad al presentarse en centrales modulares.	• Alto costo de equipos • El agua que utiliza debe ser de alta pureza. • Depende de una energía renovable para funcionar. • Se debe ser cuidadoso con el combustible almacenado.

Tabla n°2: Tipos de energía y sus respectivas ventajas y desventajas

Fuente: elaboración propia.

Sintetizado los datos entregados por la tabla anterior, se optó como mejor opción la elección del hidrogeno verde como la forma de energizar la isla. Pese a que tiene la falencia de tener un alto costo en los equipos involucrados de esta tecnología. Tiene la versatilidad de cumplir con la mayoría de las demandas que presenta la isla y los habitantes, además la producción de hidrogeno verde y la energía renovable ligada a esta, no tendrá un impacto ambiental negativo en la isla, debido a que se escogió como fuente de energía renovable ligada a esta planta, la energía solar obtenida por paneles fotovoltaicos.

Por lo que en conclusión la planta energética de hidrogeno verde o esta planta bi-energetica, tendrá la misión de energizar tanto la isla como la planta de producción de hidrogeno verde.

2.1.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO.

Como ya se ha mencionado, en los capítulos anteriores del proyecto, la planta se ubicará en la isla mocha, región del Biobío, para ello se debe escoger estratégicamente el lugar donde emplazar la planta energética y como se trata de un proyecto que se nutre de la energía solar (Fotovoltaica), es lógico destinar el emplazamiento de este proyecto zonas de la isla que presenten planicies y poca o nula vegetación que intervenga con los paneles fotovoltaicos, puesto que estos lugares presentaran más alto potencial solar de la isla. Por ende, las opciones más viables presentes en la isla son al norte de la isla mocha, que además tiene la gran ventaja de estar muy cercana a la carretera principal de la isla como también a unos escasos kilómetros de uno de los puntos más grandes de concentración de habitantes de la isla.

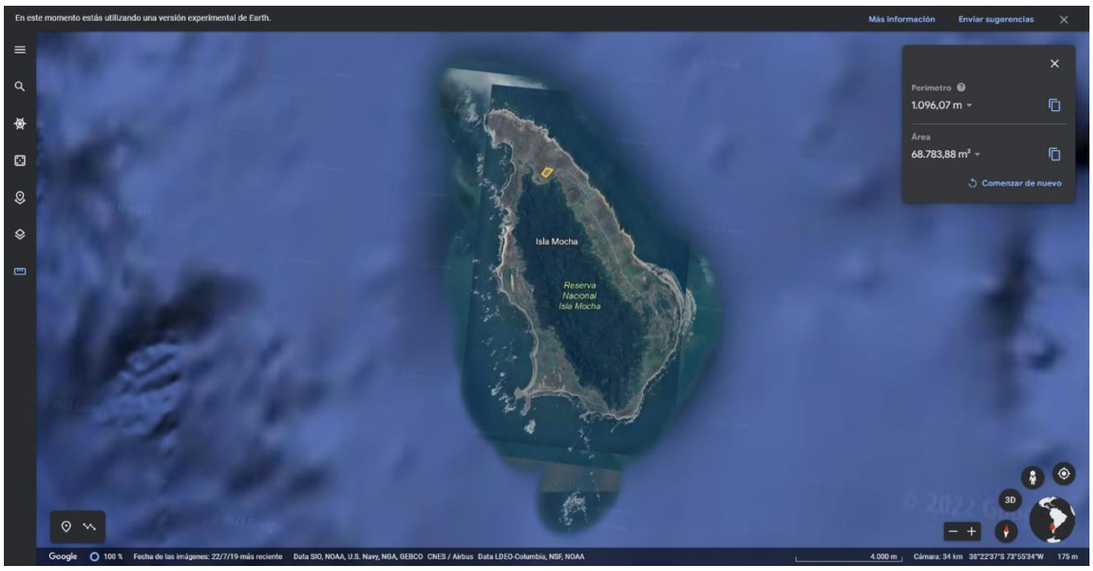

Figura n°17: Imagen satelital Isla Mocha

Fuente: Google Earht.

El proyecto contempla con un sobredimensionamiento aproximado de 7 hectáreas de superficie de suelo para la instalación de la planta hibrida energética, en donde gran parte de la superficie será destinada para la instalación de los paneles fotovoltaicos para suplir la demanda de energía de la isla como la del electrolizador PEM.

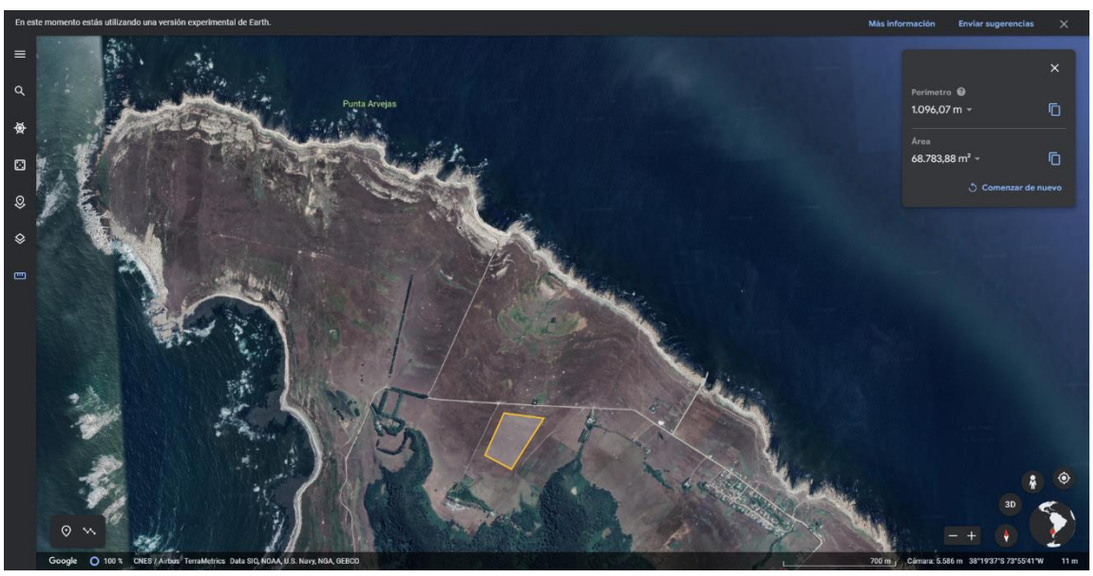

Figura n°18: Imagen Satelital Isla mocha con delimitación de terreno

Fuente: Google Earth.

3CAPITULO 3: SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA ENERGETICA.

3.1 DISEÑO PLANTA BI ENERGETICA.

En el capítulo anterior se menciona uno de los puntos fundamentales del problema de la isla y el cual este proyecto de investigación pretende cubrir. El cuál es el de resolver el problema energético de la isla. Para esto en el presente capitulo se presentarán una serie de cálculos ligado a la elección de los equipos que estarán presentes en nuestra planta bi-energetica, como también los cálculos que estarán adheridos a la producción de combustible y de energía que se generarán en la planta bi-energetica.

Presentamos la data de que en años pasados la isla presento un consumo energético anual de 220.181 kWh. Por lo que para fines de esta investigación se redondeara el consumo anual de la isla a 250.00 kWh, esto para tener en cuenta el incremento de pobladores en la isla y posibles pick de consumo de energía inesperados presentes en la isla.

Para poder realizar los cálculos correspondientes y poder elegir los equipos de producción del hidrogeno verde primero debemos calcular el consumo que se presenta en un día en la isla.

3.1.1 CALCULO CONSUMO DIARIO ISLA MOCHA.

Para la realización de este simple calculo solo debemos dividir la demanda anual de la isla, que en este caso seria 250.000 kWh en 30 días, esto se debe a que los 250.000kWh corresponde a la media de energía consumida en los meses del año.

$$250.000\ \frac{kWh}{mes} * \frac{mes}{30\ dias} = 8.333{,}33\ \frac{kWh}{dia}$$

Este simple calculo nos entrega que la isla tiene un consumo diario (24hrs) de aproximado 8.333,33kWh o 8.3 MW, por lo que tenemos la data de cuanta energía debe suplir nuestra planta bi-energética en un lapso de 24hrs, Ahora también podremos calcular la potencia nominal requerida en la isla.

$$\frac{8.333{,}33kWh}{24h} = 347{,}20\ kW\ \approx 350\ kW$$

Para seguir con esta metodología de cálculo debemos saber cómo son las distribuciones de consumo presentes en un hogar promedio, para que de esta forma sea posible identificar los picos de consumo de energía que se llevan a cabo en el hogar.

Se toma como referencia el hogar de los mochanos ya que el sistema de distribución energético de la isla está destinado para 257 clientes, en donde 247 son residenciales y los otros 10 no residenciales, donde en estos 10 clientes no residenciales tenemos presentes como edificios de posta de salud, escuela, oficina de armada, entre otros. Por lo que tenemos que el 96% aproximada mente corresponde al espectro del hogar.

3.2 CONSUMO PROMEDIO DE UN HOGAR.

Cabe recalcar que la gráfica presentada a continuación procede al consumo energético diario de un hogar en España por lo que no representa fielmente a cómo sería una gráfica de consumo energético dentro de la isla, puesto que el estilo de vida en la isla es muchísimo más austero, ya sea por su estilo de vida o como se mencionaba en capítulos anteriores la infraestructura presente en los hogares de los isleños.

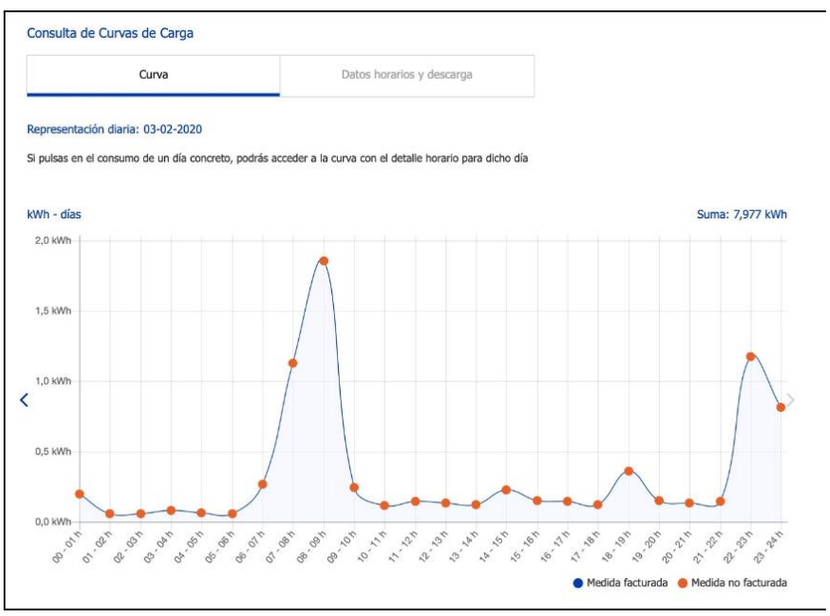

Figura n°19: Curva de consumo energético diario en el hogar.

Fuente: Genbeta.

Los datos que se pueden obtener de esta grafica son importantes para definir los picos de energías presentes en el diario vivir de un hogar, en donde se presenta como el pico más alto de demanda energética entre las 8am y las 9 am para luego mostrarnos que el segundo pico de demanda energética corresponde al anochecer entre las 22hrs y 23 hrs,

dejando las horas del almuerzo y once con unos picos más bajos y cercanos a la media de consumo del hogar.

Esto nos da paso para poder definir que equipos y modalidades se dispondrán a suplir estos picos de demanda energética durante el pasar del día a la noche en la isla puesto que también se debe tener en cuenta las limitaciones y falencias presentes en los equipos que dispondremos a suplir esta demanda.

3.2.1 DISTRIBUCION DE ABASTECIMIENTO DE ENERGIA.

Como se comentó anteriormente tenemos que los picos importantes de consumo de energía son en las mañanas y en la noche, por ello debemos hacer énfasis las cualidades de los equipos que suplirán energía eléctrica a la isla. Haciendo una simplificación de la planta tenemos que nuestra planta energética consta de 2 tipos de inyecciones energéticas.

- Inyección energética mediante la planta fotovoltaica
- Inyección energética mediante la celda de combustible PEM

Esto quiere decir, que para saber cómo distribuir el abastecimiento de energía en la isla debemos saber las falencias que presentan estos dos tipos de generadores de electricidad.

Partamos por la principal falencia de la planta fotovoltaica, tal como lo explica su nombre estas plantas cumplen su función energética mediante la obtención de energía proveniente de los fotones o partículas de luz que chocan en las células fotovoltaicas presentes en los paneles fotovoltaicos haciendo que los electrones libres de átomos generen electricidad.

Por ello debemos saber el promedio de radiación directa a los que se expondrán los paneles fotovoltaicos en la isla. Afortunadamente el explorador solar del ministerio de energía (Explorador Solar (minenergia.cl)) nos entrega esta información en los reportes que genera al ingresar datos como la capacidad de la planta fotovoltaica, coordenadas de la localidad donde se realizara esta planta PV, y otros datos que se nombraran más adelante. De momento nos centraremos en las horas de radiación que presenta la isla.

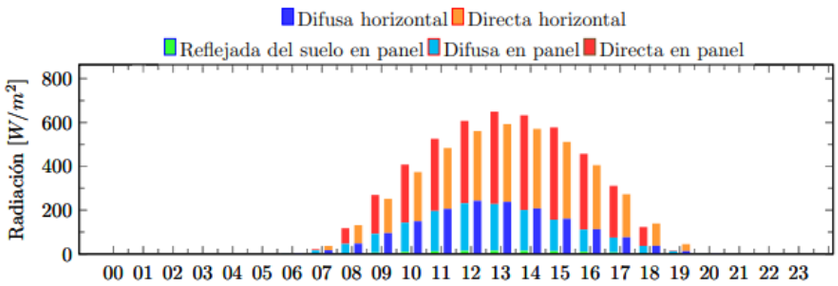

Figura n°20: Promedio horario de la radiación global instantánea.

Fuente: reporte explorador solar.

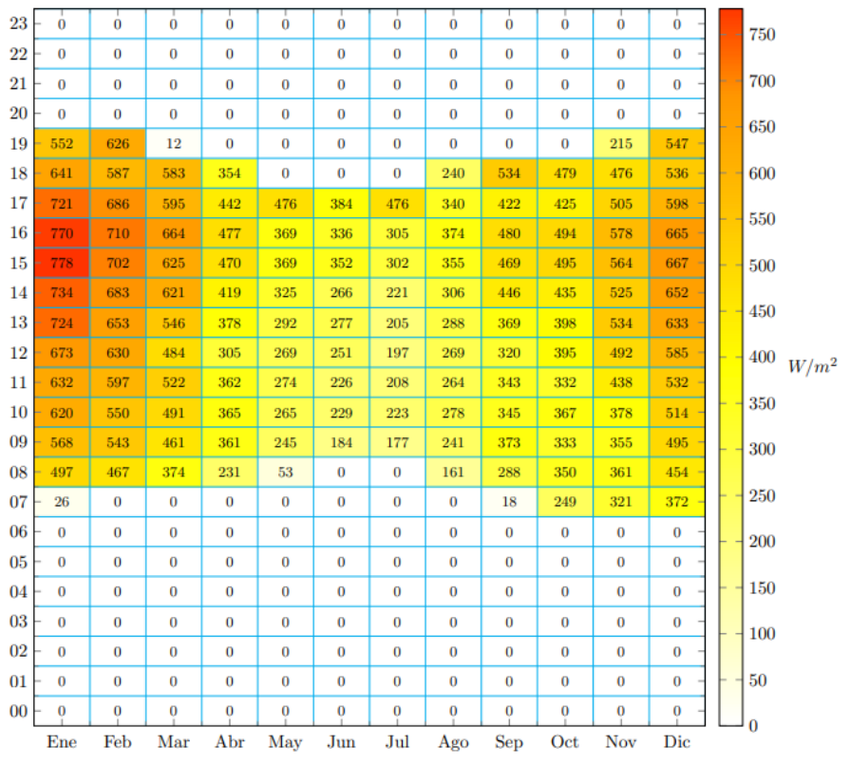

Figura n°21: Promedio de la radiación directa normal para cada hora y mes.

Fuente reporte explorador solar.

La data que podemos obtener de estos gráficos presentados son los siguientes:

- Las primeras radiaciones fotovoltaicas capturadas por los paneles fotovoltaicos comienzan a entre las 7am y las 8 am
- Los picos de radiaciones fotovoltaicas presentados en la isla son entre las 12pm y 14 pm
- Entre las 18pm y 19 pm se encuentran las ultimas radiaciones fotovoltaicas del día.
- En los meses de Mayo hasta Julio son los que presentan el menor índice de radiación fotovoltaica.

Con esta data podemos concluir que la planta fotovoltaica solo podrá abastecer a la isla en los lapsos de entre 9am y 10am hasta 17pm y 18 pm con autonomía sin depender de las reservas energéticas de hidrogeno o de las baterías de ion de litio.

Por otro lado, para la inyección energética por parte de la pila de combustible (PAFC), se necesita tener almacenado el hidrogeno y el oxígeno para cuando se necesite generar electricidad estos sean inyectados a la pila de combustible. Cabe recalcar que la pila de combustible PAFC. será alimenta por el rack de baterías de ion de litio presentes en esta planta y necesitaran tener en almacenamiento suficiente de hidrogeno con oxígeno para suplir la demanda de energía de la isla por el resto de 15hrs.

Para sintetizar lo explicado, la planta fotovoltaica deberá suplir un aproximado del 33% de la demanda energética de la isla más el consumo de energía para hacer trabajar el electrolizador y las demandas de energía por las baterías de ion de litio descargadas.

Por otro lado, la pila de combustible PAFC. deberá suplir alrededor del 60% de la demanda energética diaria de la isla, dejando el 7% faltante a nuestro resguardo de energía que son las baterías de ion de litio en donde más adelante se explicaran su función más detalladamente.

3.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS.

Para la realización de esta planta de energía dual o bi energética los equipos que se utilizaran son los siguientes:

3.3.1 CELDA DE COMBUSTIBLE (PAFC).

Para este proyecto dada a la eventualidad de que la mayoría de las empresas trabajan con modalidad de cotizaciones y son muy quisquillosos al momento de entregar valores e información técnica de los productos que venden. En este caso se escogió una celda de combustible de 105kW denominada FP-100iH por la empresa japonesa Fuji Electric, lo cual como ya se puede advertir no puede suplir la demanda energética nominal de la isla, los cuales son 350kW.

Como solución a esta problemática se eligió adquirir 4 de estas celdas de combustibles para poder conectarlas en paralelo y de esta forma obtener los 350kW de demanda nominal de la isla.

Figura n°22: Pila de combustible PAFC, modelo FP-100iH
Fuente Fuji Electric.

Cabe recalcar que por la compra de esta pila de combustible vienen incorporados todos los componentes y accesorios correspondientes para que la PAFC esté lista para funcionar una vez se conecte a la fuente de alimentación externa.

		City gas type	Biogas type	Pure hydrogen type
Type		Phosphoric acid, normal pressure, water-cooled type (PAFC)		
Model		FP-100i	FP-100iB	FP-100iH
Structure		Package type		
Rated output		105 kW (gross), 100 kW (net)		
Operation mode		Fully automatic operation, grid interconnection		
Size		5.5 m (length) × 2.2 m (width) × 3.4 m (height)		
Mass		14t	14t	13.5t
Rated voltage, number of phases, frequency		210/220 VAC, three phases, 50/60 Hz		
Heat output		Medium temperature, waste heat recovery type: 123 kW (15°C ⇒ 60°C)	Medium temperature, waste heat recovery type: 116 kW (15°C ⇒ 60°C)	Medium temperature, waste heat recovery type: 99 kW (15°C ⇒ 60°C)
Efficiency	Power generation efficiency	42%	40%	48%
	Total efficiency	91%	84%	93%
Fuel type		City gas 13A	Biogas (CH_4: 60%, CO_2: 40%) (CH_4:60%、CO_2:40%)	Pure hydrogen gas (99.9% or more)
Fuel consumption		22 m^3/ h (Normal)	44 m^3/ h (Normal)	74 m^3/ h (Normal)
Environmental performance	Exhaust gas	NOx: 5 vol.ppm or less SOx: Not detected Dust concentration: Not detected	NOx: 5 vol.ppm or less SOx: Not detected Dust concentration: Not detected	NOx: Not detected SOx: Not detected Dust concentration: Not detected
	Noise	65 dB (A) or less		

Figura n°23: Especificaciones técnicas de la pila de combustible PAFC.

Fuente: Fuji Electric

Con esta tabla de especificaciones de la celda de combustible PAFC obtenemos la data de que el consumo de hidrogeno es de 74m3/h Esto significa que la pila de energía PAFC nos entregara los 105kW de energía consumiendo 74m3/h de combustible de hidrogeno.

3.3.2 ELECTROLIZADOR PEM (M2000).

Para seleccionar el electrolizador PEM, los datos que debemos tener en cuenta son la demanda de hidrogeno de nuestras pilas de energía más el tiempo que estas estarán trabajando en la planta de hidrogeno. Para que de esta forma la planta de hidrogeno sea autosustentable y no se quede sin combustible de hidrogeno en el periodo de las 15 horas

donde se produce electricidad en base a las pilas de combustible de hidrogeno. se deben tener en cuenta algunos datos que son de vital importancia. Debido a que nuestro electrolizador PEM debe cubrir la demanda de combustible de nuestras PAFC y tener almacenado la cantidad de combustible de hidrogeno suficiente para tener funcionando las PEMFC por las 15hrs.

$$74\frac{m^3}{h} * 4 = 296\frac{m^3}{h}$$

$$296\frac{m^3}{h} * 15h = 4.400\ Nm^3_{H_2}/d$$

Esto indica que en 1 día de trabajo en la planta (en este caso 15 horas.) se consumen 4.400Nm3 de hidrogeno, esto significa que el electrolizador debe generar una media de 4.400Nm3 de hidrogeno en el lapso de 8 horas, puesto que estas son las horas correspondientes de trabajo de la planta fotovoltaica.

$$4.400\ Nm^3_{H2}\ \div 8\ hrs = 550\frac{Nm^3_{H2}}{h}$$

Para esta situación el electrolizador que se utilizara es el M2000 de siemens el cual produce 1.698 Nm3/h y, además, proporciona tiempos de respuesta rápidos y flexibilidad de producción, lo que la hace ideal para la generación de hidrogeno utilizando fuentes de energía renovables. Y como presentamos una sobre producción de gas de hidrogeno por cada día de trabajo estándar la producción de hidrogeno de 8 horas, permite a la planta de hidrogeno verde una autonomía de 3 días (con forme a las 15 horas de funcionamiento). Y como plus cuenta con requisitos mínimos de mantenimiento y ubicación, los electrolizadores de la serie M2000 pueden producen gas de hidrogeno con una pureza del 99,9995%.

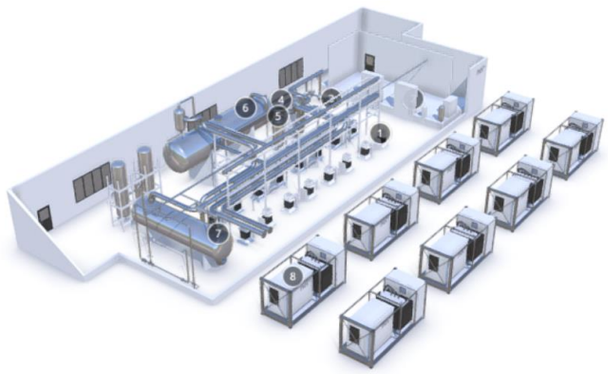

Figura n°24: Electrolizador PEM M2000 (M series)

Fuente: nelhydrogen.

Con un diseño modular escalable que se puede transportar en contenedores, estos sistemas ofrecen soluciones que se adaptan bien a una variedad de aplicaciones industriales, de abastecimiento de combustible y de energía renovable.

Specifications

	M2000
Net Production Rate	
Nm^3/h @ 0°C, 1 bar	1,698 Nm^3/h
kg/24 h	4,247 kg/24 h
Production Capacity Dynamic Range	10-100% (Input Mode); 10-100% (H_2 Demand Mode)
Average Power Consumption at Stack	4.5 kWh/Nm^3
Purity (with Optional High Purity Dryer)	99.9995%
O_2-Content in H_2	< 1 ppm v
H_2O-Content in H_2	< 5 ppm v
Delivery Pressure	30 barg (435 psig)
Dimensions	Dependent upon configuration – contact Nel for details
Ambient Temperature (Low and High Ambient Temperature Options Available)	10-40° C (50-104° F)
Electrolyte	Proton Exchange Membrane (PEM) – Caustic Free

Figura n°25: Tabla de datos PEM M2.000 (M series)

Fuente: Nelhydrogen.

3.3.3 BATERIA DE ION DE LITIO (UP5000).

Una batería de ion de litio o batería li-ion es un tipo de batería recargable que utiliza compuestos de litio como uno de los electrodos. Estas baterías funcionan como una batería tradicional. Sin embargo, con la ventaja de que la entrega de energía es máxima durante todo el tiempo, sin importar la poca carga que le quede a la batería. Con una batería de plomo acido tradicional, la capacidad de conducción del equipo disminuye cuanto más se descarga la batería.

En este caso la batería de fosfato de hierro y litio UP 5.000 es uno de los nuevos productos de almacenamiento de energía, estas baterías pueden utilizar para soportar energía confiable para varios tipos de equipos y sistemas, es especialmente adecuada para escenarios de aplicación de alta potencia, espacio de instalación limitado, soporte de carga restringido y ciclo de vida largo.

Figura n°26: Batería de ion de litio UP 5.000
Fuente: infigroup

La Función que deberán suplir estas baterías son la de energizar los equipos suplementarios provenientes de la pila de combustible como también la de estar conectadas a la red de alimentación de la isla en modalidad de espera para suplir los excesos de consumo energéticos.

Se opto por tener a 10 de estas baterías de ion de litio en la planta energética propuesta debido a que como lo indica la misma ficha técnica de esta batería tiene una capacidad nominal de energía de 4.800 volts o 4,8 kW. Esto indica que con 10 UP 5.000 se tendrá un resguardo energético más que aceptable para suplir el estrés energético que pueda sufrir la planta bi-energética.

Basic Parameters	UP5000
Nominal Voltage (V)	48
Nominal Capacity (Wh)	4800
Usable Capacity (Wh)	4560
Dimension (mm)	442*420*165
Weight (Kg)	40
Discharge Voltage (V)	44.5 ~ 53.5
Charge Voltage (V)	52.5 ~ 53.5
Recommend Charge/Discharge Current (A)	50
Max. Charge/Discharge Current (A)	74~89@60sec
Peak Charge/Discharge Current (A)	90~200A@15sec
Communication	RS485, CAN
Depth of discharge (%)	95
Configuration (max. in 1 battery group)	16pcs
Working Temperature	0℃~50℃ Charge
	-10℃~50℃ Discharge
Shelf Temperature	-20℃~60℃
Short current/duration time	<4000A/2ms
Cooling type	Natural
Protective class	I
IP rating of enclosure	IP20
Humidity	5% ~ 95%(RH) No Condensation
Altitude(m)	<4000
Certification	TÜV / CE / UN38.3
Design life	10+ Years (25℃/77℉)
Cycle Life	>4,500 25℃
Reference to standards	IEC62619, IEC63056, IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, UN38.3

Figura n°27: Ficha técnica UP 5.000

Fuente: Manual de operación UP5.000

3.3.4 PLANTA FOTOVOLTAICA

Se tiene planeado que la planta fotovoltaica cubra la demanda de la isla más la demanda del electrolizador, por ello en los siguientes cálculos se tendrá una idea de la demanda de energía que debería realmente cubrir la planta fotovoltaica.

Primero debemos calcular la demanda nominal de nuestro electrolizador, puesto que en las especificaciones técnicas tiene su consumo de energía de 4.5kWh por cada Nm3 de gas de hidrogeno producido. Y la tabla nos indica que el electrolizador produce 1.698

Nm3/h de hidrogeno, esto indica que para despejar el consumo nominal del electrolizador se puede realizar mediante el siguiente calculo:

$$Consumo\ nominal\ Electrolizador: 4{,}5\ \frac{kWh}{Nm^3} * 1.698\ \frac{Nm^3}{h} = 7.641\ kW.$$

Ahora que presentamos el consumo nominal del electrolizador podemos avanzar a calcular la producción de energía real que deberá suplir la planta fotovoltaica.

$$poder\ de\ consumo\ de\ la\ isla + poder\ de\ consumo\ del\ electrolizador = produccion\ energetica\ que\ debe\ suplir\ la\ planta\ fotovoltaica.$$

$$Produccion\ energetica\ \ que\ debe\ entregar\ la\ planta\ foto\ voltaica: 7.641\ kW + 350\ kW = 7.991 kW$$

Pero para este proyecto se dará un aumento del 10% del de la demanda energética total, para suplir el consumo de equipos suplementarios a la estación de hidrogeno como las estaciones de compresión, sala de control y equipos correspondientes a esta sala y las baterías de ion de litio.

$$7.991\ kWh * 1.1 = 8.790{,}1\ kWh\ \approx 8{,}79\ MW$$

Con este dato como demanda energética procedemos a ingresar los datos a la herramienta del ministerio de energía llamado Explorador Solar, el cual nos entregara un completo reporte de las condiciones y producción de la planta fotovoltaica, dependiendo del lugar del país en donde esta esté situada. Pero aparte de agilizar este plan de estudio también nos ayudara con la determinación del factor de planta de nuestra planta fotovoltaica (PV).

CALCULO PARA DETERMINAR EL NUMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS:

Para saber cuántos paneles fotovoltaicos tendrá la planta fotovoltaica se puede realizar el siguiente calculo, teniendo en cuenta la energía que deberá suplir esta planta fotovoltaica como también la potencia nominal del panel (370 W), junto a la hora solar pico (HSP), en este particular caso la hsp será de 4 horas puesto que se utilizara el horario de invierno, ya que es la fecha donde se tiene menos horas luz por día, también se dejara un factor del 30% de sobredimensión para que los resultados sean más seguros. Este calculo esta representado en la siguiente ecuación.

$$\frac{8.790.100\ W * 1.3}{4\ horas * 370\ W} = 7.721{,}03\ \approx 7.722\ Paneles\ foto\ voltaicos$$

Nota: Para el presente trabajo de título se optará por trabajar con el número de paneles fotovoltaicos calculado de la expresión anterior y no con el número de paneles que nos entrega la herramienta del explorador solar.

CALCULO DE AREA DE PANELES FOTOVOLTAICOS:

Obtenido el número de los paneles fotovoltaicos presentes en nuestra planta fotovoltaica se puede calcular el área nominal de espacio que utilizaran estos paneles fotovoltaicos en nuestra planta bi-energetica, el área se puede obtener multiplicando nuestro número de paneles fotovoltaicos por las dimensiones del alto y largo presentes en el panel fotovoltaico. Los cuáles serán calculados en la siguiente ecuación.

$$7.722\ Paneles\ foto\ voltaicos * 1{,}956\ m * 0{,}991\ m = 14.968{,}2939\ m^2$$

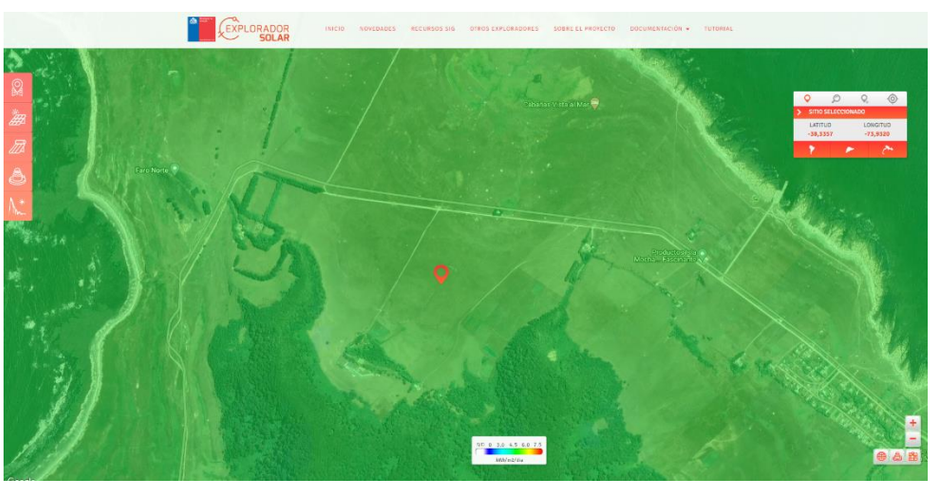

Figura n°28: Imagen de ubicación al mapa de coordenadas.

Fuente: Explorador Solar

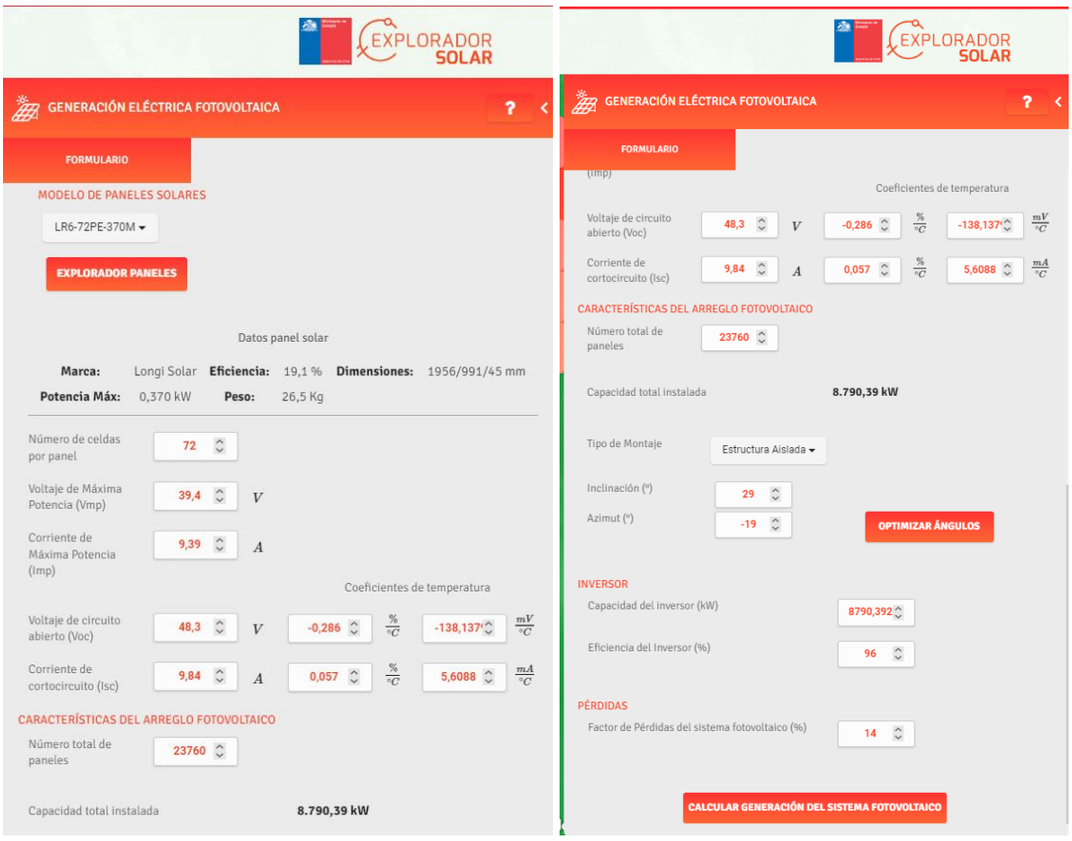

Figura n°29: Ingreso de datos paneles fotovoltaicos a explorador solar

Fuente: Explorador Solar.

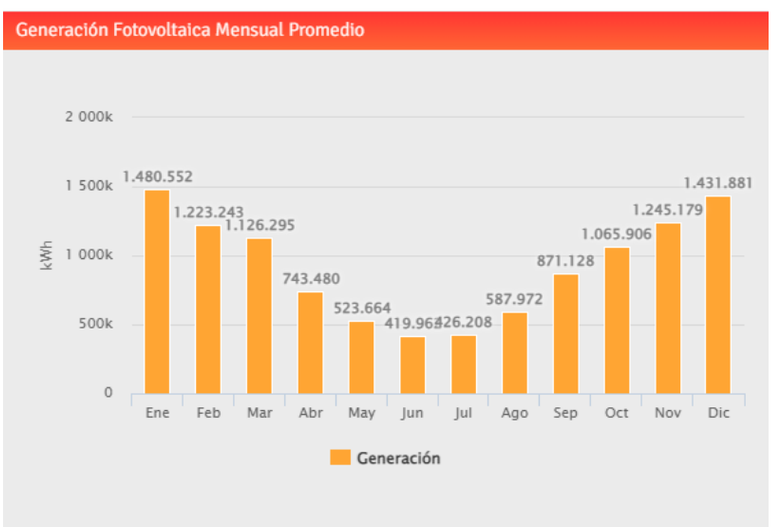

Figura n°30: Grafica de Generación eléctrica mensual en Explorador Solar.

Fuente: Explorador solar.

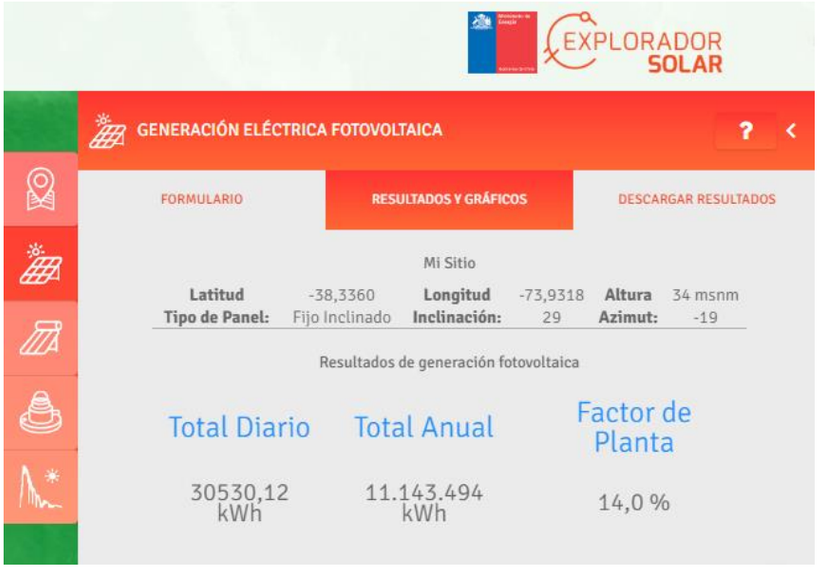

Figura n°31: Resultados Generales del informe del Explorador Solar.

Fuente: Explorador Solar.

En síntesis, las imágenes previamente expuestas nos exponen una gran variedad de datos, pero uno resultados más importantes es el Factor de Planta, ya que nos permite calcular de manera rápida cualquier tipo de generación eléctrica, ya sea anual o diaria dependiendo de la capacidad de generación de energía de nuestra planta de forma casi exacta. Para corroborar lo previamente expuesto, se realizarán un par de cálculos que ratifiquen lo manifestado.

CALCULO DE GENERACION ANUAL:

Generación Anual = (Capacidad de generación eléctrica) * (Horas al año) * (Factor de Planta) = (MWh/a).

$$Generacion\ Electrica\ Anual = 8{,}79\ MW * 8.760\ \frac{h}{año} * 0{,}14 = \ 10.780{,}560 \frac{MWh}{año}$$

CALCULO DE GENERACION DIARIA:

Generación Diaria = (Capacidad de generación eléctrica) * (Horas al Dia) * (Factor de Planta) = (MWh/d).

$$Generacion\ Electrica\ Diaria = 8{,}79\ MW * 24\ \frac{h}{dia} * 0{,}14 = 29{,}5344\ \frac{MWh}{dia}$$

Si estos resultados los comparamos con los obtenidos del informe del explorador solar, se advertirá una similitud, tal y como se ilustra en la siguiente imagen.

Tabla 3: Características del sistema fotovoltaico

Configuración	Fijo Inclinado
Montaje	open rack cell glassback
Inclinación	29º
Azimut	-19º
Nº celdas por panel	72
Nº paneles	23760
Voltaje máxima potencia	39.4 V
Corriente máxima potencia	9.39 A
Voltaje circuito abierto	48.3 V
Coef. temperatura voltaje	-0.286 $\%/^oC$
Corriente cortocircuito	9.84 A
Coef. temperatura corriente	0.057 $\%/^oC$
Ef. Inversor	96.0 %
Pérdidas	14 %

3.2 Resultados de la generación eléctrica fotovoltaica

Tabla 4: Resultados de la generación fotovoltaica

Capacidad Instalada	8790.39 kW
Total Diario	30.53 MWh
Total Anual	11.14 GWh
Factor de Planta	14.0 %

Figura n°32: Características y resultados generales de informe de explorador solar

Fuente: Explorador solar.

De esta forma estas expresiones serán utilizadas en el progreso de este trabajo de investigación para determinar de manera más aproximada la producción en el proceso de electrolisis.

3.3.5 GENERACION ENERGETICA PLANTA PV PARA PROCESO DE ELECTROLISIS.

Para calcular el monto de energía de la planta PV para suplir el proceso de electrolisis se basará en el uso del dato del factor de planta obtenido del informe del explorador solar y como capacidad de generación energética, se usará la demanda nominal del electrolizador que serían 7,641 MW. A continuación, se mostrará el cálculo correspondiente gracias a las siguientes expresiones:

CALCULO DE GENERACION ANUAL PARA ELECTROLIZADOR

Generación Anual energética para planta de electrolisis = (Capacidad de consumo energético del electrolizador) * (Horas al año) * (Factor de Planta) = (kWh/a).

$$Generacion\ anual\ para\ ELY = 7{,}641\ MW * 8.760\ \frac{h}{año} * 0.14 = 9.370{,}9224\ \frac{MWh}{año}$$

CALCULO DE GENERACION DIARIA PARA ELECTROLIZADOR

Generación diaria energética para planta de electrolisis = (Capacidad de consumo energético del electrolizador) * (Horas al día) * (Factor de Planta) = (kWh/a).

$$Generacion\ diaria\ para\ ELY = 7{,}641\ MW * 24\ \frac{h}{dia} * 0.14 = 25.67376\ \frac{MWh}{dia}$$

3.3.6 PPRODUCCION Y CONSUMO DE LA PLANTA DE ELECTROLISIS (ELY)

Para calcular la producción de hidrogeno como producto y la de oxígeno como secundario a este, nos basaremos en la estequiometria de la reacción química, además, se usará como referencia la demanda nominal del electrolizador que es 7.641 kW

	$2H_2O$	$\rightarrow$ $2H_2$	$+$ O_2	
Masa	9 Kg	1 Kg	8 Kg	ENERGIA ELECTRICA 50 (kWh)
Peso molecular	36 g/mol	4 g/mol	32 g/mol	
Mol	2	2	1	

Tabla n°3: Calculo estequiométrico de la reacción química de electrolisis, para producir 1 Kg de hidrogeno molecular.

Fuente: You-Iggy

Estos resultados estequiométricos se pueden apreciar de manera más clara en un esquema del proceso de electrolización.

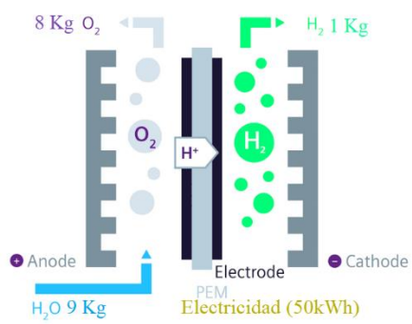

Figura n°33: Entrada y salida del electrolizador PEM asociado a valores estequiométricos.

Fuente: Siemens (adaptado).

Explicado el proceso estequiométrico de la electrolización del agua podemos avanzar a calcular la producción de gas de hidrogeno y de oxígeno proveniente del electrolizador.

CALCULO DE PRODUCCION ANUAL DE HIDROGENO:

Producción Anual H_2 = ((Consumo anual ELY) * (Producción estequiométrica de hidrogeno)) / (consumo eléctrico para generar 1 Kg H_2) = Kg H_2/Año

$$Produccion\ Anual\ H_2 = \frac{\left(\left(9.370{,}9224\ \frac{MWh}{Año} * 1.000\right) * 1\ Kg\ H_2\right)}{50\ kWh}$$

$$= 187.418{,}448\ \frac{Kg\ H_2}{Año}$$

CALCULO DE PRODUCCION ANUAL DE OXIGENO:

Producción Anual de O_2 = ((Consumo Anual ELY) * (Producción estequiométrica de oxígeno)) / (Consumo eléctrico para generar 1Kg H_2) = Kg O_2/Año

$$Produccion\ Anual\ O_2 = \frac{\left(\left(9.370{,}9224\ \frac{MWh}{Año} * 1.000\right) * 8\ Kg\ O_2\right)}{50\ kWh}$$

$$= 1.499.347{,}582\ \frac{kg\ O_2}{Año}$$

Para calcular el consumo de agua, utilizaremos el consumo establecido por estequiometria, pero esta vez adecuaremos este balance estequiométrico a los resultados de las últimas investigaciones sobre los procesos de electrolisis, lo que indica que en realidad se necesitarían 11 Litros de agua para producir 1Kg de hidrogeno.

CALCULO DE CONSUMO ANUAL DE AGUA (H2O):

Consumo anual de agua = ((Consumo Anual ELY) * (Consumo Estequiométrico)) / (Consumo eléctrico para generar 1 Kg H_2) = Kg H_2O/Año.

$$Consumo\ Anual\ de\ Agua\ (H_2O) = \frac{\left(\left(9.370{,}9224\ \frac{MWh}{Año} * 1.000\right) * 11\ Kg\ H_2O\right)}{50\ kWh}$$

$$= 2.061.602{,}928\ \frac{Kg\ H_2O}{Año}$$

3.3.7 ALMACENAMIENTO DE LA PRODUCCION

Para calcular la capacidad de almacenamiento que se deberá instalar en la planta, primero se debe considerar el tiempo estimado para el uso de este combustible. Como se mencionó anteriormente se proyecta que la capacidad de autonomía que deberá contar la planta es de 2 días. Esto lo indicará la producción diaria de cada uno de los gases producido por el electrolizador, la cual será despejada en base a la producción nominal por hora, los días que esté funcionando el electrolizador durante el año y las horas de funcionamiento diario del propio.

3.3.7.1 DATOS PLANTEADOS PARA LA PRODUCCION DE HIDROGENO:

Para poder realizar el cálculo de producción de hidrogeno a través de las diferentes unidades de tiempo primero se debe de tomar en cuenta las siguientes observaciones propuestas:

- Días de Funcionamiento de la planta al Año: 365 días/año
- Producción de Hidrogeno al Año: 187.418,448 Kg H_2/año
- Densidad del Hidrogeno: 0,0899 Kg/Nm3

CALCULO DE PRODUCCION DE HIDROGENO POR HORA:

Producción por Hora de H_2: ((Consumo nominal ELY) * (Producción estequiométrica del hidrogeno)) / (Consumo eléctrico para generar 1Kg de hidrogeno) = Kg H_2/h

$$Produccion\ por\ Hora\ de\ H_2 = \frac{(7.641\ kW * 1Kg\ H_2)}{50\ kWh} = 152{,}82\ \frac{Kg\ H_2}{h}$$

CALCULO HORAS DE FUNCIONAMIENTO DIARIO DEL ELECTROLIZADOR:

HORAS DIARIAS DE FUNCIONAMIENTO ELECTROLIZADOR = ((Producción de hidrogeno Anual) / (Días de funcionamiento anual de la planta)) / (Producción de hidrogeno por hora) = horas/día

$$Horas\ diarias\ de\ funcionamiento\ ELY: \frac{\left(\frac{187.418{,}448\ \frac{Kg\ H_2}{año}}{365\ \frac{dias}{año}}\right)}{152{,}82\ \frac{Kg\ H_2}{h}} = 3{,}36\ \frac{horas}{dia}$$

CALCULO DE PRODUCCION DIARA DE H_2:

Producción Diaria H_2: ((Producción por Hora de hidrogeno) * (Horas diarias funcionando ELY)) / Densidad Hidrogeno = (Nm3 H_2) /d

$$Produccion\ Diara\ H_2: \frac{(152{,}82\ \frac{Kg\ H_2}{h} * 3{,}36\ \frac{h}{d})}{0{,}0899\ \frac{Kg}{Nm^3}} = 5.711{,}62625139\ \frac{Nm^3\ H_2}{d}$$

3.3.7.2 DATOS PLANTEADOS PARA LA PRODUCCION DE OXIGENO:

Para poder realizar el cálculo de producción de oxígeno a través de las diferentes unidades de tiempo, primero se debe de tomar en cuenta las siguientes observaciones propuestas:

- Días de funcionamiento de la planta al año: 365 días / año.
- Producción de oxígeno al año: 1.499.347,582 (Kg O_2) / año.
- Densidad del oxígeno: 1,331 Kg/nm3.

CALCULO DE PRODUCCION DE OXIGENO POR HORA

Producción por hora de oxígeno: ((consumo nominal ELY) * (Producción estequiométrica del oxígeno)) / (Consumo eléctrico para generar 1Kg de hidrogeno) = (Kg O_2) /h

$$Produccion\ por\ Hora\ de\ O_2: \frac{(7.641\ kW * 8\ Kg\ O_2)}{50\ kWh} = 1.222{,}56\ \frac{Kg\ O_2}{h}$$

CALCULO DE PRODUCCION DIARIA DE O_2

Producción por hora de oxígeno: ((producción por hora de oxígeno) * (Horas diarias funcionando ELY)) / (Densidad oxigeno) = (Nm3 O_2) / d

$$Produccion\ Diaria\ O_2: \frac{(1.222{,}56\ \frac{Kg\ O_2}{h} * 3{,}36\ \frac{h}{d})}{1{,}331\ \frac{Kg}{Nm^3}} = 3.086{,}26214125\ \frac{Nm^3\ O_2}{dia}$$

Con estos datos obtenidos, procederemos a calcular la capacidad de almacenamiento para ambos gases mediante las siguientes expresiones.

CALCULO DE ALMACENAMIENTO DE HIDROGENO PARA 2 DIAS.

Almacenamiento H_2: Producción diaria H2 * Días de almacenamiento = Nm3 H_2

$$Almacenamiento\ H_2: \left(5.711{,}62625139 \frac{Nm^3\ H_2}{Dias} * 2\ Dias\right)$$
$$= 11423{,}2525028\ Nm^3\ H_2$$

CALCULO DE ALMACENAMIENTO DE OXIGENO PARA 2 DIAS

Almacenamiento O_2: Producción diaria O2 * Días de almacenamiento = Nm3 O_2

$$Almacenamiento\ O_2: \left(3.086{,}26214125\ \frac{Nm^3\ O_2}{Dia} * 2\ Dias\right)$$
$$= 6.172{,}5242825\ Nm^3\ O_2$$

Cabe mencionar que los volúmenes calculados serán menores de los que se calcularon, puesto que el electrolizador genera estos gases con una presión cercana a los 30 bar, presión a los cuales serán almacenados en estanques presurizados para luego ser despresurizados cuando estos se envíen a alimentar la pila de combustible. También se puede concluir que, para el almacenamiento de estos gases, Se debe tener la doble capacidad de almacenaje para el almacenamiento del hidrogeno que la del oxígeno.

CONCLUSIÓN.

Como conclusión obtenida del proyecto realizado y de los resultados calculados. Se llego a la resolución de que para que este proyecto sea absolutamente más viable, se deben cubrir los siguientes dos puntos:

- Primero se debe cubrir la demanda de agua purificada para nuestro electrolizador, poniendo en manos a la comitiva presente en la isla, o al mismo municipio de Lebu, la entrega de este recurso hídrico proveniente desde el continente, ya que este recurso al ya estar siendo explotado por los habitantes para alimentar la APR, sería perjudicial o estresante para el ecosistema hídrico presente en la isla, un aumento de la demanda hídrica para sustentar la planta de electrolisis, puesto que, podría generar una futura sequia de las vertientes y/o napas de agua donde los isleños obtienen estos recursos.

- Como segundo punto seria aún más viable para esta planta bi-energetica un futuro con nuevos avances tecnológicos implementados en el área de las pilas de combustibles. Puesto que nuestra actual pila de combustible genera como producto de esta reacción electroquímica agua contaminada de ácido fosfórico, debido al electrolito de acido fosfórico presente en la pila de combustible. Y como se comento a lo largo de este trabajo, podremos inferir que el recurso hídrico es un recurso muy preciado en la isla, puesto que aun existen habitantes en la isla que deben obtener este recurso de las vertientes provenientes de la zona boscosa de la isla, por lo que sería contraproducente utilizar varios kilogramos de agua para energizar la isla y que los propios desechos de nuestra planta sea un recurso tan preciado para los habitantes de la isla sea este mismo recurso hídrico pero contaminado. Por lo que si a futuro se llega al avance tecnológicos donde ciertas pilas de combustibles no generen un producto de agua contaminada y se pueda volver a reutilizar en el proceso para generar hidrogeno verde nuevamente, aliviaría el consumo de agua que produce los electrolizadores y, además, sería mucho mas factible y sostenible montar estas plantas energéticas en sistemas aislados y marginados de la urbe. Como también que las pilas de combustibles que no generan producto de agua contaminada ni trabajen con gases de CO_2, se investiguen formas de potenciar estas pilas de combustibles para que no tan solo se utilicen en el rubro automovilístico, si no también para utilizarlas en el rubro industrial y/o plantas de energías estacionarias.

Una vez cubiertos estos puntos de viabilidad para nuestra planta bi-energetica, se podría concluir que es producente energizar la isla con esta metodología, puesto que a grandes rasgos es sumamente más económico el valor monetario del recurso hídrico a diferencia del valor monetario del Diesel, sin profundizar a cuanto bajaría la huella de carbono generada en la isla. Con lo que conlleva a realizar como trabajo futuro un estudio e investigación para realizar una evaluación económica junto a una estimación de la inversión realizada, para proyectar si la inversión a realizada en este proyecto generaría beneficios económicos a lo largo de los años.

LINKOGRAFIA

http://base.d-p-h.info/es/fiches/dph/fiche-dph-7039.html

https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy

https://ovacen.com/energias-renovables/solar/fotovoltaica/

https://laderasur.com/destino/isla-mocha-el-asombroso-lugar-de-las-almas-bosques-mar-en-llamas-y-mocha-dick-que-cautiva-en-el-biobio/

https://www.ecured.cu/Isla_Mocha_(Chile)

https://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-isla-mocha/

https://chileestuyo.cl/destino/isla-mocha/

https://islamocha.com

https://www.revistaei.cl/reportajes/isla-mocha-generara-electricidad-con-sus-pozos-de-gas/#

http://www.doh.cl/APR/Materiales/Triptico%20Historia%20APR%202019act.pdf

http://generadoras.cl/tipos-energia/hidrogeno-verde

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589299119300035#b0325

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589299119300035

http://www2.udg.edu/Portals/88/proc_industrials/5%20-%20Otros%20Combustibles-Hidrogeno.pdf

https://www.chem.gla.ac.uk/cronin/images/pubs/Chisholm-Chapter_16_2016.pdf

http://www.zecsa.org/cmsAdmin/uploads/o_1c3akmda41q2q16mk1ov318o0f6ta.pdf

https://energia.gob.cl/electromovilidad/img/Tecnologías-del-hidrógeno-y-perspectivas-para-Chile_2019.pdf

https://www.enel.cl/content/dam/enel-cl/prensa/comunicados-enel-green-power/2021/10-09-21-CP-Primera-Piedra-Hidrogeno.pdf

https://www.bighit.eu/about

https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/31495/TFG-I-929.pdf;jsessionid=2CA3BFB8446D3B2DD2E6D382B4C97C78?sequence=1

https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/424/JAVIER%20BREY.pdf

https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/176192/Análisis-conceptual-constructivo-y-experimental-de-un-electrolizador-con-diferentes-electrodos.pdf?sequence=1

https://www.fujielectric.com/products/fuelcell/spec.html

https://nelhydrogen.com/product/m-series-3/

https://www.you-iggy.com/en/chemical-reactions/electrolysis-of-2x-water-yields-2x-hydrogen-plus-1x-oxygen/#reaction-data-section

https://reportesostenible.cl/blog/el-hidrogeno-verde-y-la-escasez-hidrica-hay-agua-para-todos/

https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/normal-metro-cubico

https://blog.toyota-forklifts.es/que-son-las-baterias-de-litio

ANEXO A: REPORTE EXPLORADOR SOLAR.

EXPLORADOR

SOLAR

Reporte

Generación Eléctrica Fotovoltaica

Geofísica
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Ministerio de Energía
Gobierno de Chile

Reporte

4 Generación fotovoltaica y datos meteorológicos

27/11/2022

1 Introducción

En este reporte se presenta información sobre el recurso solar basada en la modelación numérica de la transferencia de radiación solar en la atmósfera y en datos satelitales de alta resolución. El producto obtenido ha sido validado con observaciones, sin embargo, no debe ser considerado como definitivo antes de ser corroborado con mediciones in situ.

El modelo utilizado para la transferencia radiativa en cielo despejado es el modelo CLIRAD-SW, el cual considera las interacciones de la radiación con la atmósfera por bandas espectrales de manera independiente. El modelo utiliza datos de temperatura, humedad y aerosoles de reanálisis meteorológicos y datos climatológicos de CO_2, CH_4 y O_3.

La información para la nubosidad que se ha utilizado proviene de los satélites GOES-EAST para los años 2004 a 2016. Con esta base de datos se ha identificado la nubosidad y sus características radiativas, y a través de un modelo empírico se ha modificado el resultado obtenido para una atmósfera con cielo despejado para adaptarlo a una condición de cielo nublado.

A continuación encontrará los resultados del cálculo de la generación del sistema fotovoltaico evaluado, de acuerdo a los parámetros ingresados, el impacto de la radiación incidente y las condiciones meteorológicas en el sitio de interés. Además se muestra información sobre la radiación (global, directa y difusa) incidente en el panel de acuerdo a las caracter´ısticas del arreglo fotovoltaico escogido, la radiación incidente en un plano horizontal y los promedios de la nubosidad, temperatura y la velocidad del viento en el sitio seleccionado.

2 Sitio

En esta sección se muestran las características topográficas del sitio escogido por el usuario.

Tabla 1: Ubicación del sitio seleccionado

Nombre	Mi Sitio
Latitud	38.336 ^{o}S
Longitud	73.9318 ^{o}O
Elevación	34 m

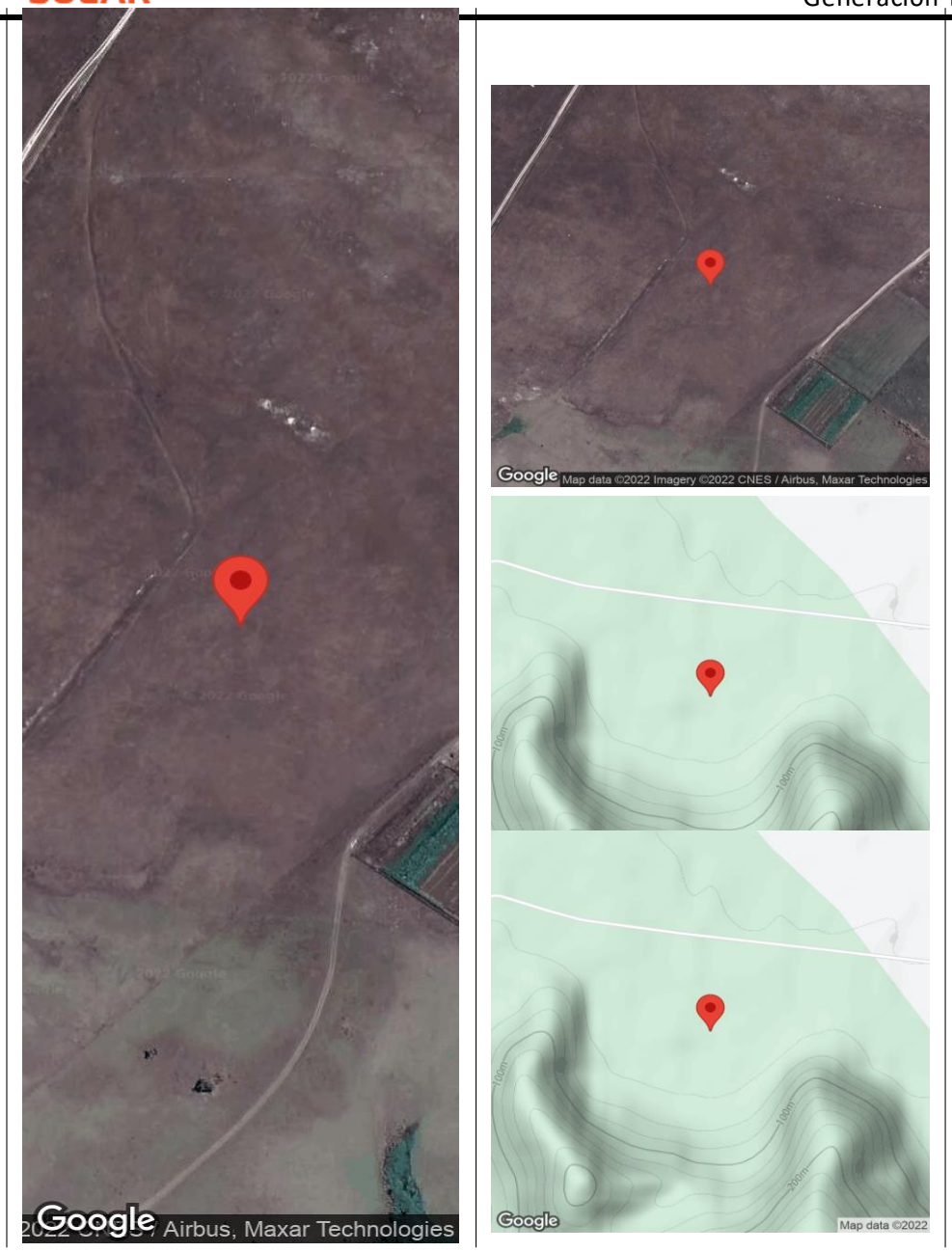

Figura 1: Mapas del sitio seleccionado

2.1 Sombras topográficas

Se ha utilizado una base de datos de altura del terreno de 90 [*m*] de resolución y se ha considerado la topografía dentro de un radio de 180 [*km*] desde el sitio seleccionado para obtener las sombras proyectadas por los obstáculos topográficos en el entorno del sitio. Este análisis NO considera el impacto de otro tipo de obstáculos como por ejemplo edificios, árboles, cables, etc.

Tabla 2: Frecuencia de sombras.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	45.83	46.28	53.21	55.0	59.78	62.5	62.5	55.72	52.48	50.0	49.33	45.83

(a) Porcentaje de tiempo con sombras cada mes en horario diurno.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	53.35	20.22	0.0	0.0	0.0

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.47	74.85	100.0	100.0	100.0	100.0

(b) Porcentaje del año con sombras en cada hora.

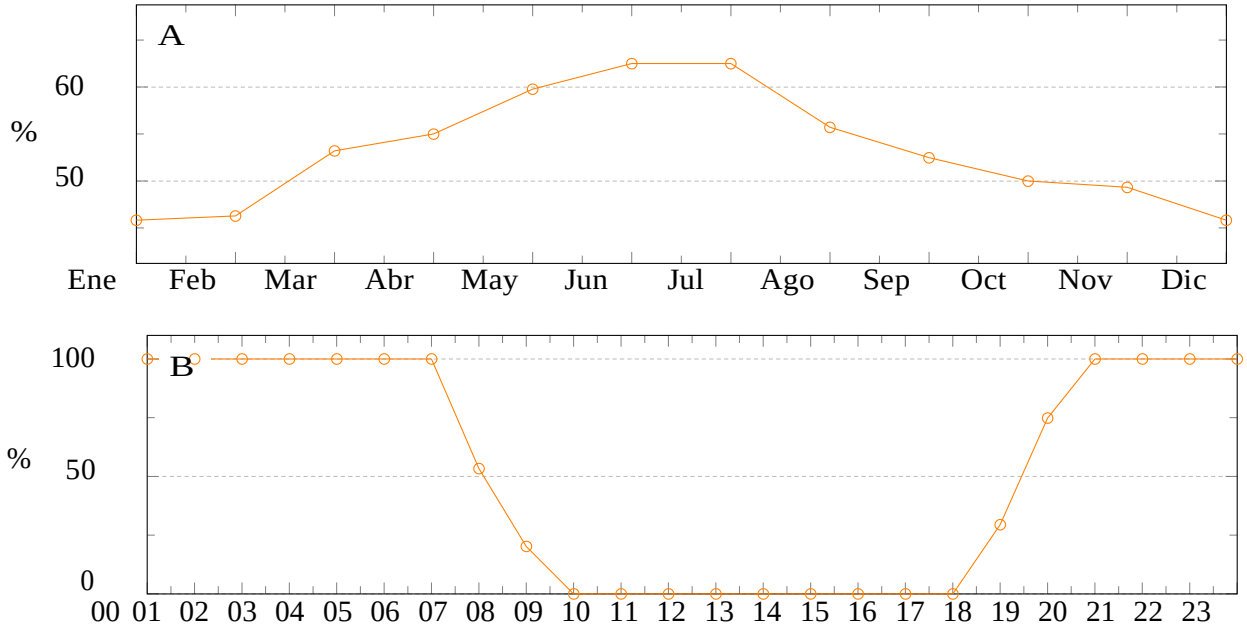

Figura 2: A) Ciclo anual de frecuencia de sombras, B) Ciclo diario de frecuencia de sombras.

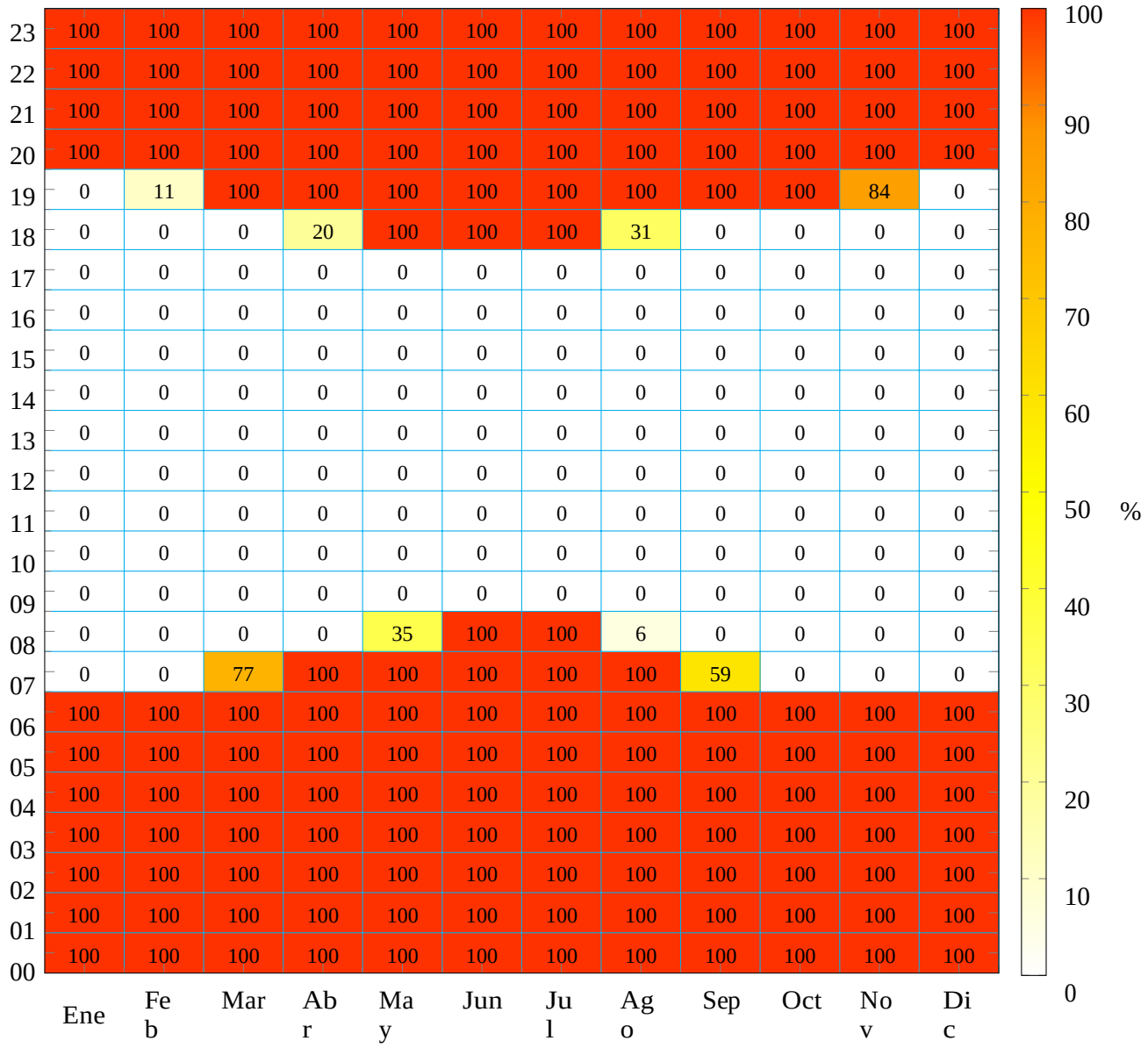

Figura 3: Porcentaje de la hora con sombras durante cada mes.

3 Generación Fotovoltaica

3.1 Características del arreglo fotovoltaico

Las características del sistema ingresadas por el usuario para la simulación de la generación fotovoltaica y los resultados se presentan en esta sección.

Tabla 3: Caracter´ısticas del sistema fotovoltaico

Configuración	Fijo Inclinado
Montaje	open rack cell glassback
Inclinación	29º
Azimut	-19º
Nº **celdas por panel**	72
Nº **paneles**	23760
Voltaje máxima potencia	39.4 V
Corriente máxima potencia	9.39 A
Voltaje circuito abierto	48.3 V
Coef. temperatura voltaje	-0.286 %/ºC
Corriente cortocircuito	9.84 A
Coef. temperatura corriente	0.057 %/ºC
Ef. Inversor	96.0 %
Pérdidas	14 %

3.2 Resultados de la generación eléctrica fotovoltaica

Tabla 4: Resultados de la generación fotovoltaica

Capacidad Instalada	8790.39 kW
Total Diario	30.53 MWh
Total Anual	11.14 GWh
Factor de Planta	14.0 %

Tabla 5: Ciclo anual de la generación fotovoltaica.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
GWh	1.48	1.22	1.13	0.74	0.52	0.42	0.43	0.59	0.87	1.07	1.25	1.43

(a) Promedio de la generación total en cada mes.

Tabla 6: Ciclo diario de la generación fotovoltaica.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
MWh	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.08	0.41	1.32	2.33	3.21
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
MWh	3.84	4.21	4.21	3.97	3.3	2.37	1.08	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0

(a) Promedio de la generación para cada hora.

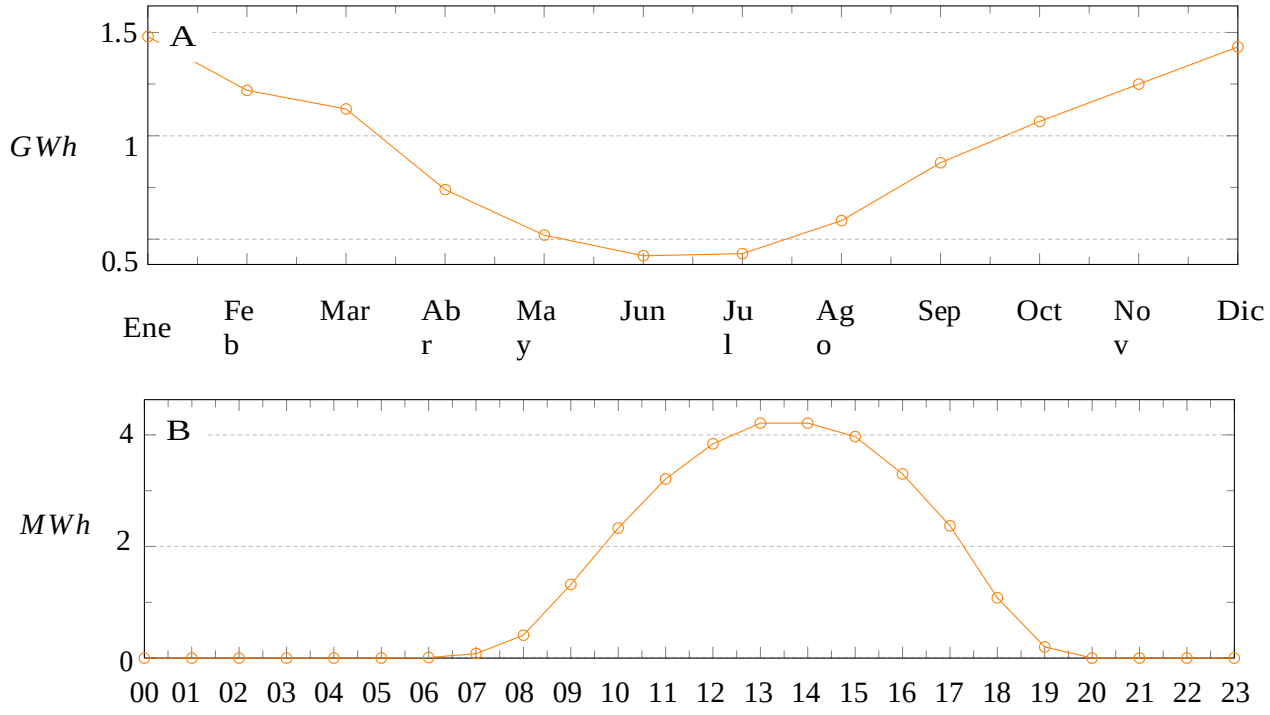

Figura 4: A) Ciclo anual de generación, B) Ciclo diario de generación.

Tabla 7: Total anual de la generación para cada año en la base de datos.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
GWh	10.36	10.68	10.76	10.77	10.68	11.0	12.16	12.0	11.04	11.27	10.64	11.62	11.89

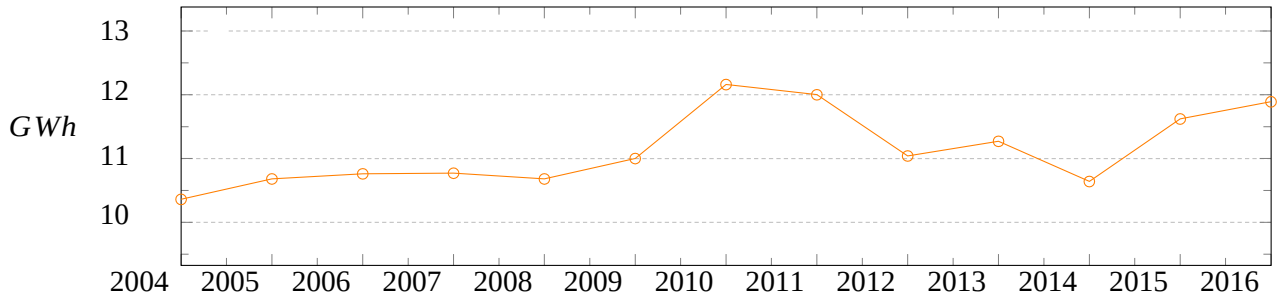

Figura 5: Variación interanual de la generación fotovoltaica.

3.3 Radiación

Las siguientes tablas y gráficos muestran los promedios de la radiación global, directa y difusa incidente sobre un plano horizontal y sobre un plano orientado hacia el norte, con una inclinación igual a la latitud del sitio.

3.3.1 Insolación mensual

Tabla 8: Promedio mensual de la insolación diaria en unidades de $[kWh/m^2/día]$.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	5.66	4.76	3.39	1.83	1.07	0.8	0.77	1.27	2.22	2.86	3.85	4.99
Difusa	2.15	1.9	1.57	1.22	0.77	0.63	0.71	1.01	1.65	2.27	2.77	2.69
Global	7.81	6.66	4.96	3.05	1.84	1.43	1.48	2.28	3.87	5.13	6.62	7.68

(a) Radiación incidente en el plano horizontal

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	4.93	4.75	4.2	2.88	2.11	1.79	1.63	2.16	2.98	3.06	3.5	4.16
Difusa	1.92	1.7	1.4	1.09	0.69	0.56	0.64	0.9	1.47	2.03	2.47	2.4
Suelo	0.2	0.17	0.13	0.08	0.05	0.04	0.04	0.06	0.1	0.13	0.17	0.2
Global	7.05	6.62	5.73	4.05	2.85	2.39	2.31	3.12	4.55	5.22	6.14	6.76

(a) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

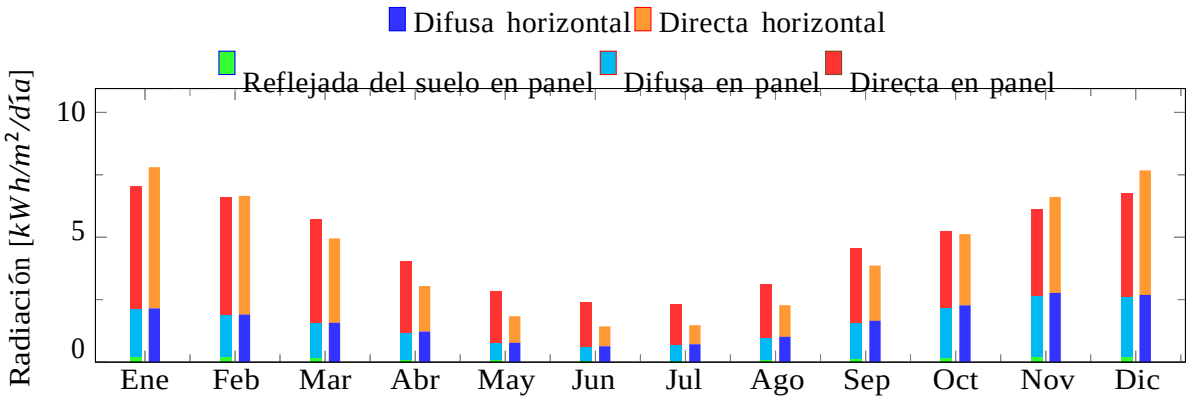

Figura 6: Promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada del suelo.

3.3.2 Ciclo diario de radiación

Tabla 9: Promedio horario de la radiación incidente en unidades de $[W/m^2]$.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Directa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.54	83.77	156.91	224.76	277.73
Difusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	17.44	47.65	95.33	149.21	205.69
Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	45.98	131.42	252.24	373.97	483.42
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Directa	317.93	354.9	362.86	350.93	292.13	196.49	101.87	30.16	0.0	0.0	0.0	0.0
Difusa	242.64	237.91	207.89	160.68	113.26	76.21	37.26	12.94	1.59	0.0	0.0	0.0
Global	560.57	592.81	570.75	511.61	405.39	272.7	139.13	43.1	1.59	0.0	0.0	0.0

(a) Radiación incidente en el plano horizontal.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Directa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.23	72.12	177.71	264.91	329.53
Difusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.33	15.59	42.6	85.23	133.4	183.89
Suelo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.07	1.17	3.34	6.42	9.51	12.3
Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	21.99	118.06	269.36	407.82	525.72
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Directa	376.15	421.89	432.46	420.8	345.68	235.87	85.02	2.95	0.0	0.0	0.0	0.0
Difusa	216.92	212.69	185.85	143.65	101.25	68.13	33.31	11.56	1.42	0.0	0.0	0.0
Suelo	14.26	15.08	14.52	13.01	10.31	6.94	3.54	1.1	0.04	0.0	0.0	0.0
Global	607.33	649.66	632.83	577.46	457.24	310.94	121.87	15.61	1.46	0.0	0.0	0.0

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

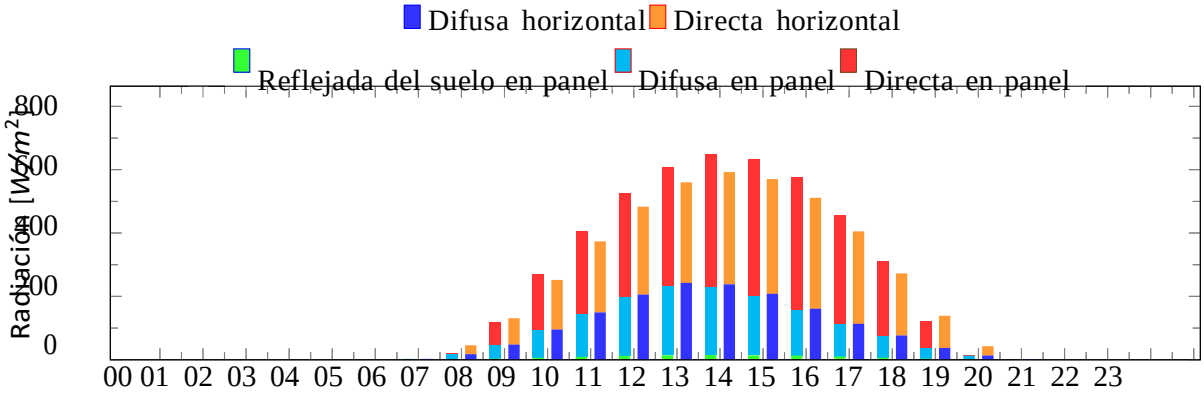

Figura 7: Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

3.3.3 Variabilidad año a año

Tabla 10: Promedio anual de la insolación diaria en unidades de $[kWh/m^2/día]$.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Directa	2.38	2.48	2.57	2.68	2.72	2.66	3.0	3.04	2.84	2.84	2.65	3.15	3.14
Difusa	1.8	1.78	1.74	1.64	1.59	1.64	1.57	1.54	1.52	1.56	1.61	1.44	1.49
Global	4.18	4.26	4.31	4.32	4.31	4.3	4.57	4.58	4.36	4.4	4.26	4.59	4.63

(a) Radiación incidente en el plano horizontal.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Directa	2.63	2.8	2.86	2.95	2.96	3.05	3.68	3.65	3.24	3.28	2.94	3.54	3.63
Difusa	1.61	1.59	1.55	1.46	1.42	1.47	1.4	1.38	1.36	1.4	1.44	1.29	1.33
Suelo	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12
Global	4.35	4.5	4.52	4.52	4.49	4.63	5.2	5.15	4.71	4.79	4.49	4.95	5.08

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

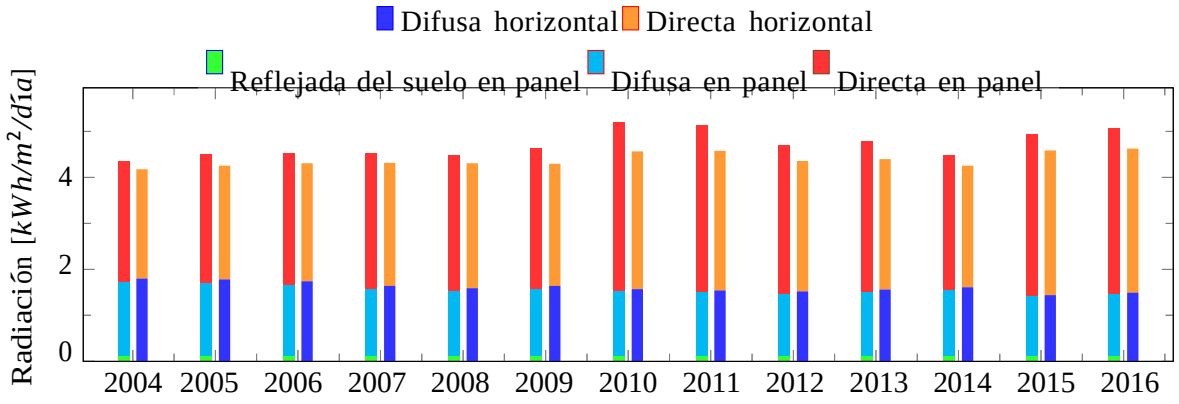

Figura 8: Promedio anual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado para cada año de simulación.

3.3.4 Ciclo diario-anual

Los siguientes gráficos muestran el ciclo diario y el ciclo anual de la radiación solar incidente. El eje horizontal indica la hora del día (UTC-4) y el eje vertical indica el mes del año. La escala de colores indica el valor medio de la radiación instantánea incidente en el panel en [W/m^2] para cada hora y mes.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
19	173	129	8	0	0	0	0	0	0	9	45	157
18	355	285	174	48	0	0	0	25	105	157	226	304
17	550	476	331	169	98	63	98	126	212	285	389	490
16	728	640	493	294	174	139	151	228	353	445	567	669
15	863	766	591	388	251	210	212	299	465	574	709	826
14	938	844	679	442	280	226	224	336	534	647	806	911
13	962	853	688	459	292	245	238	353	554	682	857	951
12	913	808	639	411	274	221	218	330	521	672	834	904
11	791	693	558	362	227	169	177	267	447	580	742	803
10	647	537	413	266	155	111	119	189	340	475	580	666
09	466	376	266	162	80	45	48	102	231	332	430	499
08	286	203	118	45	5	0	0	23	98	203	280	322
07	124	52	4	0	0	0	0	0	7	70	139	158
06	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	16
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

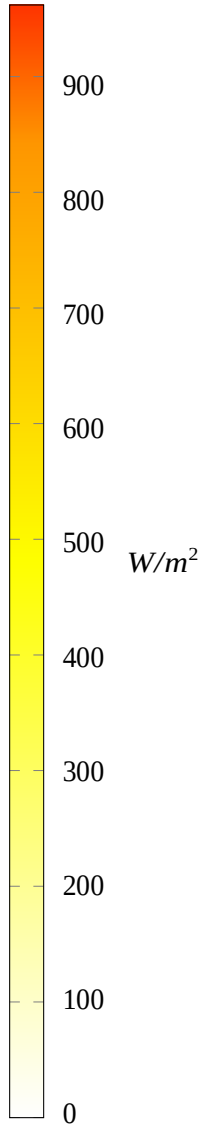

Figura 9: Promedio de la radiación global horizontal para cada hora y mes.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
19	56	53	8	0	0	0	0	0	0	8	24	40
18	253	242	202	95	0	0	0	60	142	131	149	197
17	471	462	387	260	238	191	250	208	264	278	330	399
16	676	656	586	413	296	265	259	333	432	460	526	596
15	835	801	698	519	386	352	328	409	557	605	685	771
14	920	888	795	564	403	335	309	434	628	677	789	869
13	947	895	786	569	403	361	316	445	627	709	845	912
12	890	842	717	494	374	324	292	413	580	699	818	862
11	756	712	638	461	326	258	254	345	509	594	718	753
10	595	536	474	356	245	196	197	266	397	488	549	605
09	395	353	304	238	153	107	103	159	280	332	391	425
08	200	159	128	81	21	0	0	53	123	192	229	235
07	39	20	2	0	0	0	0	0	6	48	79	69
06	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	14
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

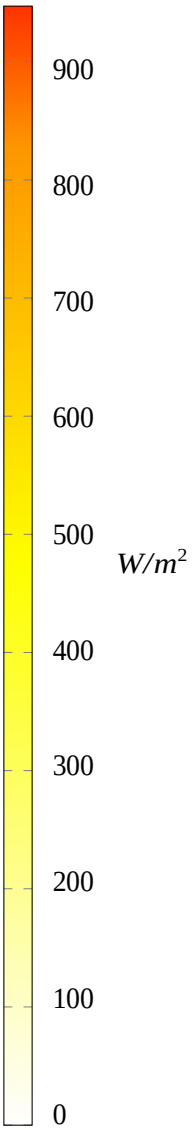

Figura 10: Promedio de la radiación global incidente en un plano con inclinacioón igual a la latitud del sitio, para cada hora y mes.

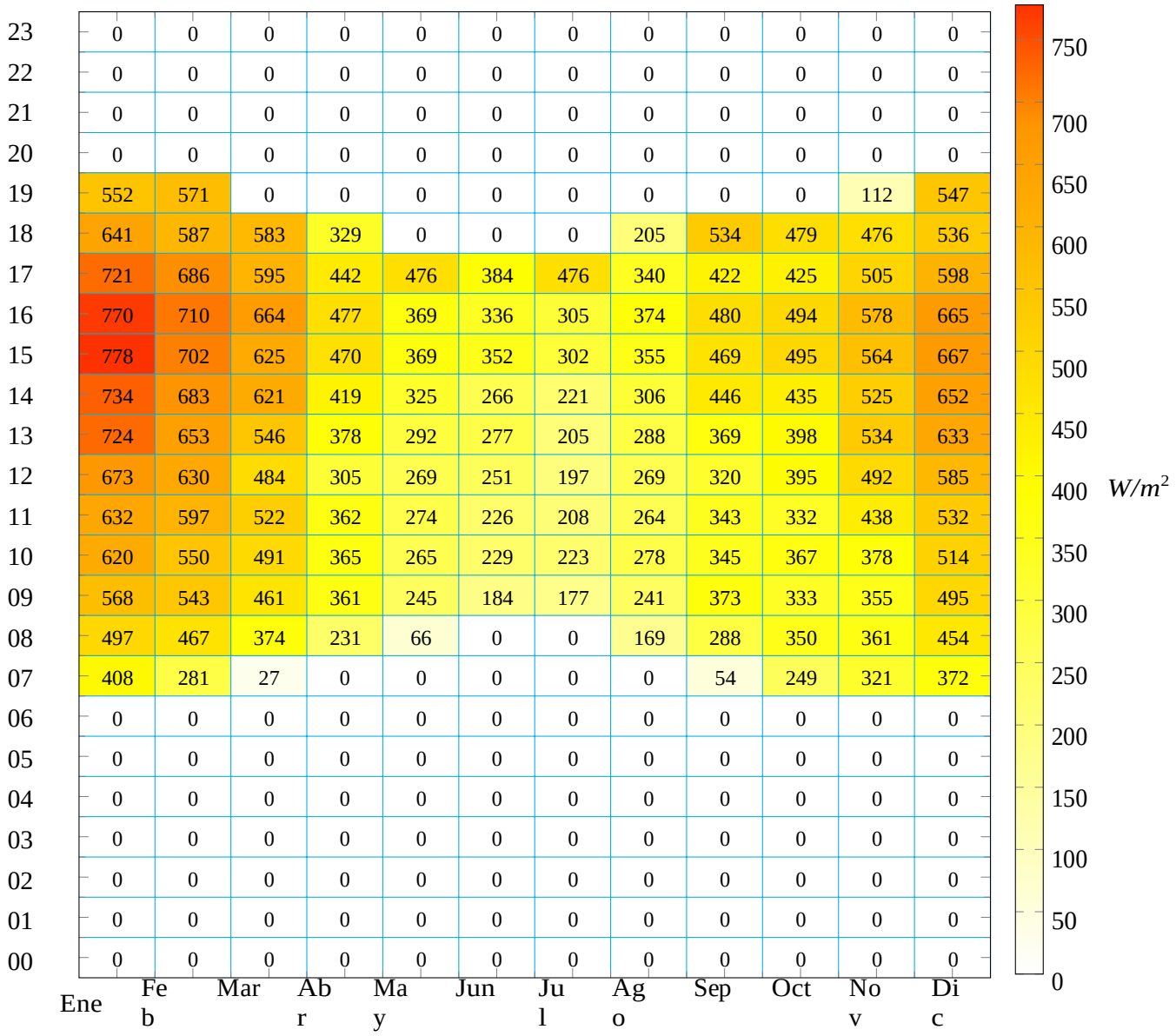

Figura 11: Promedio de la radiación directa normal para cada hora y mes.

3.4 Nubosidad

La nubosidad es la componente atmosférica que remueve mayor cantidad de radiación incidente. A partir de imágenes del satélite geostacionado GOES, se ha calculado la frecuencia de nubosidad para cada hora y mes. Debido a que para la mayor parte del país se utilizan las imágenes del canal visible en la detección de nubosidad, el dato solo está disponible para las horas diurnas.

Tabla 11: Frecuencia de la nubosidad diurna.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	21.67	20.14	20.88	24.28	24.7	23.85	25.35	28.07	26.83	30.01	30.42	27.44

(a) Porcentaje del mes con nubosidad diurna

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.46	27.45	43.68	59.25	60.83	62.12

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	62.23	58.98	55.61	49.6	46.14	38.11	21.99	5.76	1.67	0.0	0.0	0.0

(a) Porcentaje de la hora con nubosidad. Los ceros corresponden a horas donde no hay datos de nubosidad.

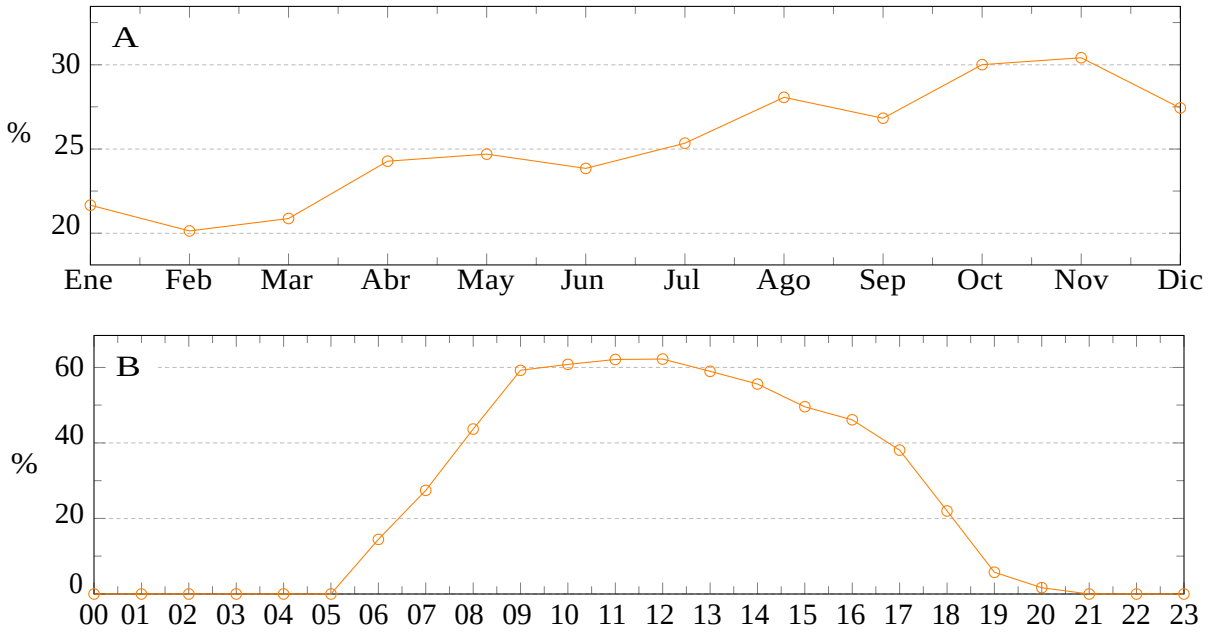

Figura 12: A) Ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna, B) Ciclo diario de frecuencia de nubosidad.

Tabla 12: Variación interanual del porcentaje de nubosidad.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
%	29.03	27.67	27.22	26.54	26.45	25.7	22.41	22.16	25.2	24.66	27.08	22.88	22.23

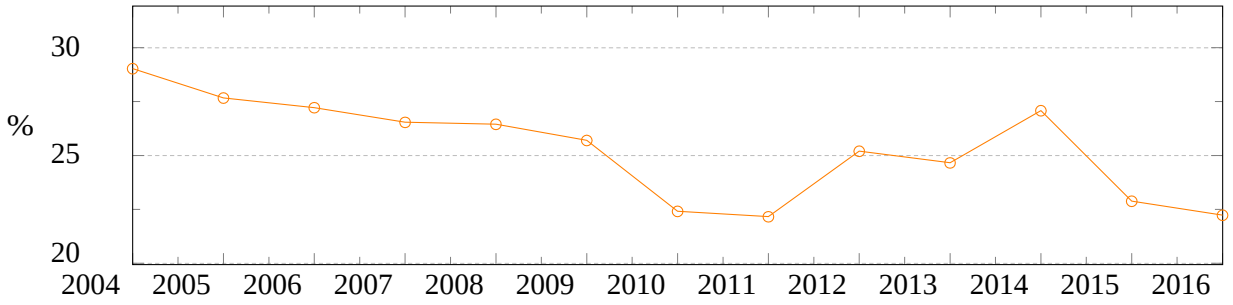

Figura 13: Variación interanual del porcentaje de nubes.

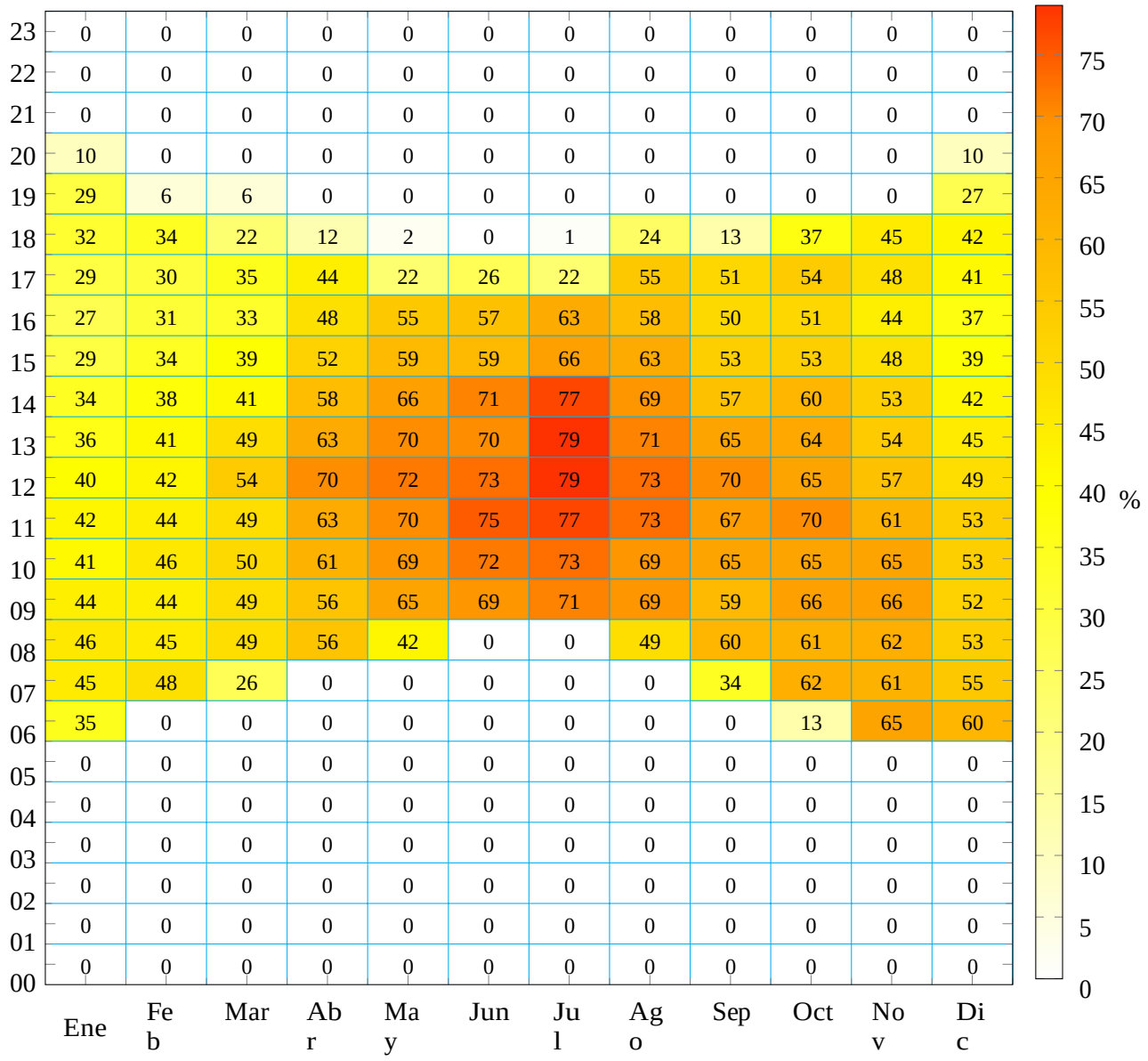

Figura 14: Porcentaje de tiempo con nubes para cada hora y mes.

3.5 Temperatura

La temperatura ambiental afecta la eficiencia de las celdas fotovoltaicas. Las estimaciones de temperatura que se muestran en este capítulo están basadas en los resultados del Explorador Eólico, los cuales se basan en las simulaciones hechas con el modelo meteorológico WRF a 1[km] de resolución para el año 2010.

Tabla 13: Temperatura media.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
°C	14.64	14.62	13.74	12.29	10.97	9.89	9.13	9.22	9.78	10.74	12.0	13.42

(a) Temperatura promedio mensual.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
°C	10.81	10.72	10.64	10.59	10.55	10.49	10.5	10.65	11.04	11.63	12.25	12.78

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
°C	13.17	13.42	13.5	13.39	13.1	12.68	12.19	11.74	11.44	11.25	11.09	10.94

(b) Temperatura promedio para cada hora.

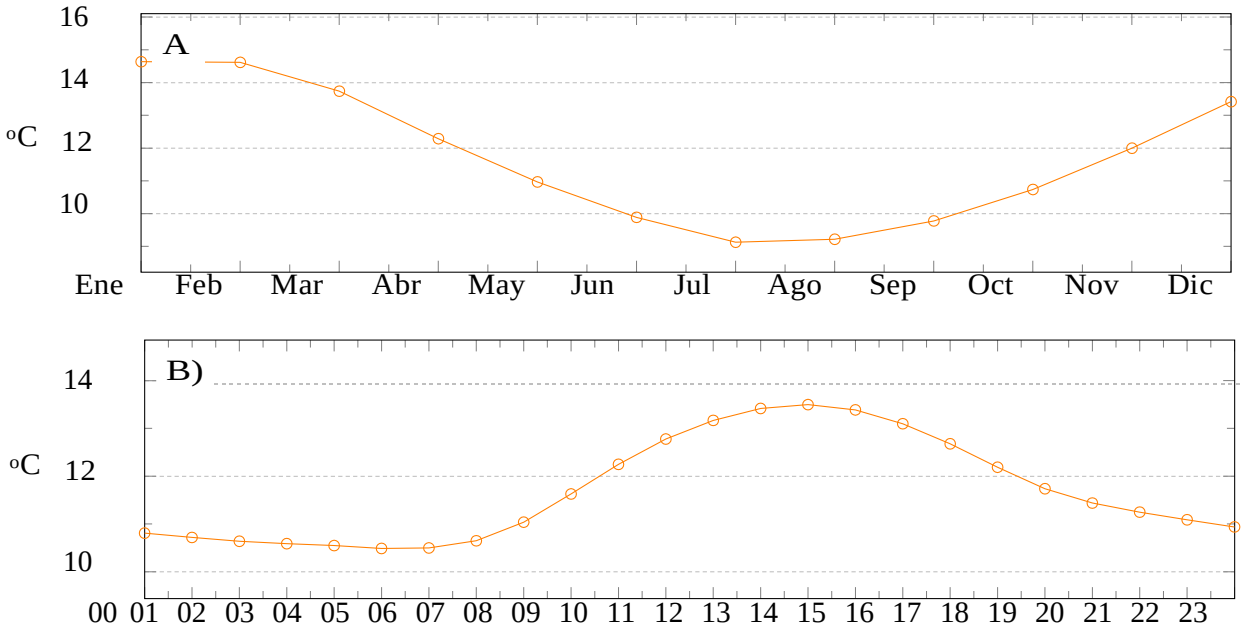

Figura 15: A) Ciclo diario de la temperatura media, B) Ciclo anual de la temperatura media.

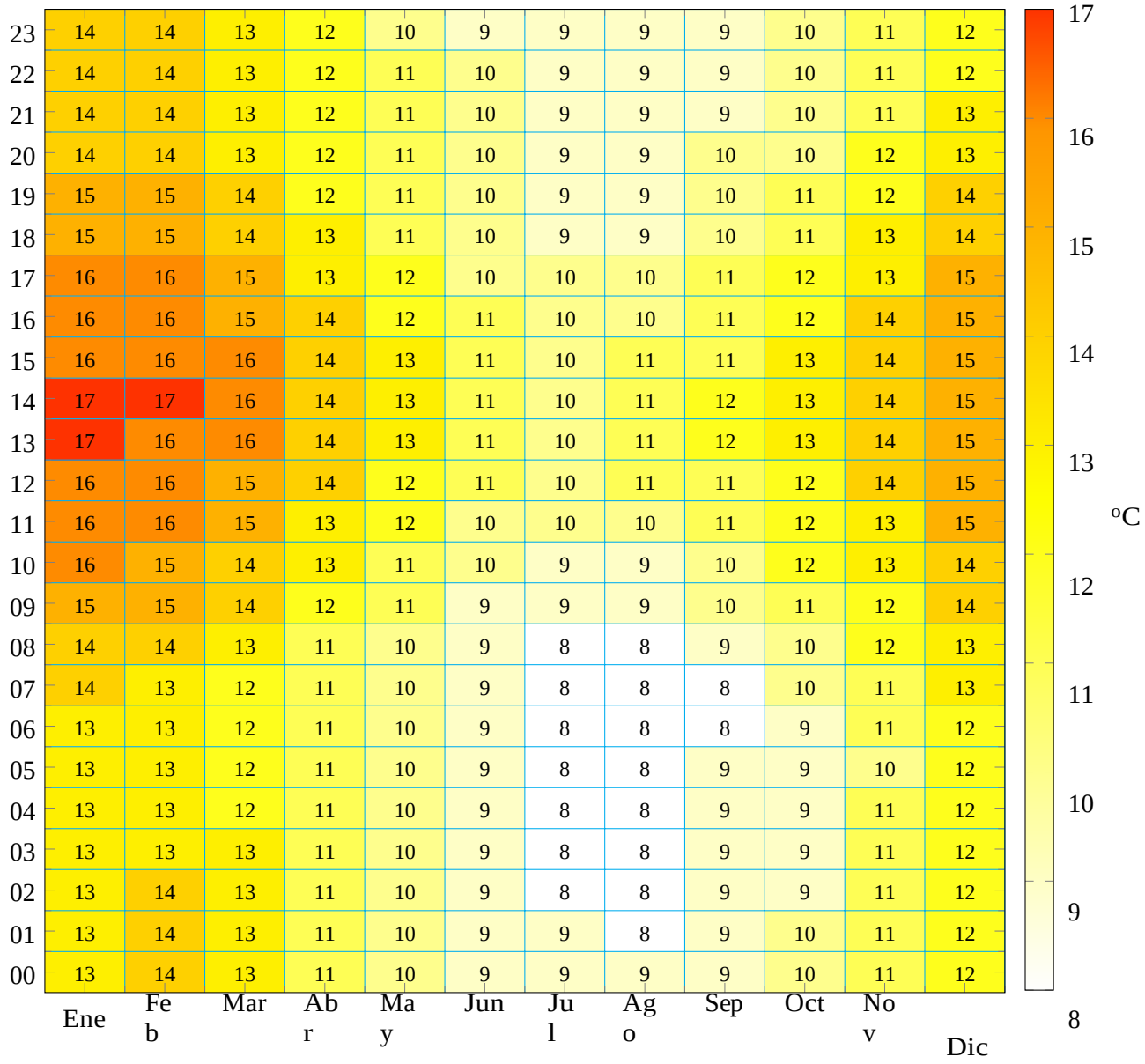

Figura 16: Promedio de la temperatura para cada mes y hora.

3.6 Viento

La velocidad del viento interviene en el enfriamiento de ls celdas fotovoltaicas, y por lo tanto en su eficiencia, además puede afectar la integridad del montaje de los paneles. Las estimaciones de viento aquí presentadas corresponden a los resultados del Explorador Eólico para una altura de 5.5 metros, calculados con el modelo WRF a 1 [km] de resolución para el año 2010.

Tabla 14: Velocidad del viento a $5,5[m]$.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
m/s	4.45	4.29	3.89	3.53	3.5	3.91	4.02	3.97	3.75	3.56	4.09	4.28

(a) Promedio mensual de la magnitud del viento.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
m/s	3.9	3.8	3.83	3.77	3.8	3.75	3.77	3.72	3.73	3.73	3.8	3.85

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
m/s	3.96	4.05	4.13	4.21	4.24	4.21	4.15	4.09	4.06	4.02	3.97	3.89

(b) Promedio de la magnitud del viento para cada hora.

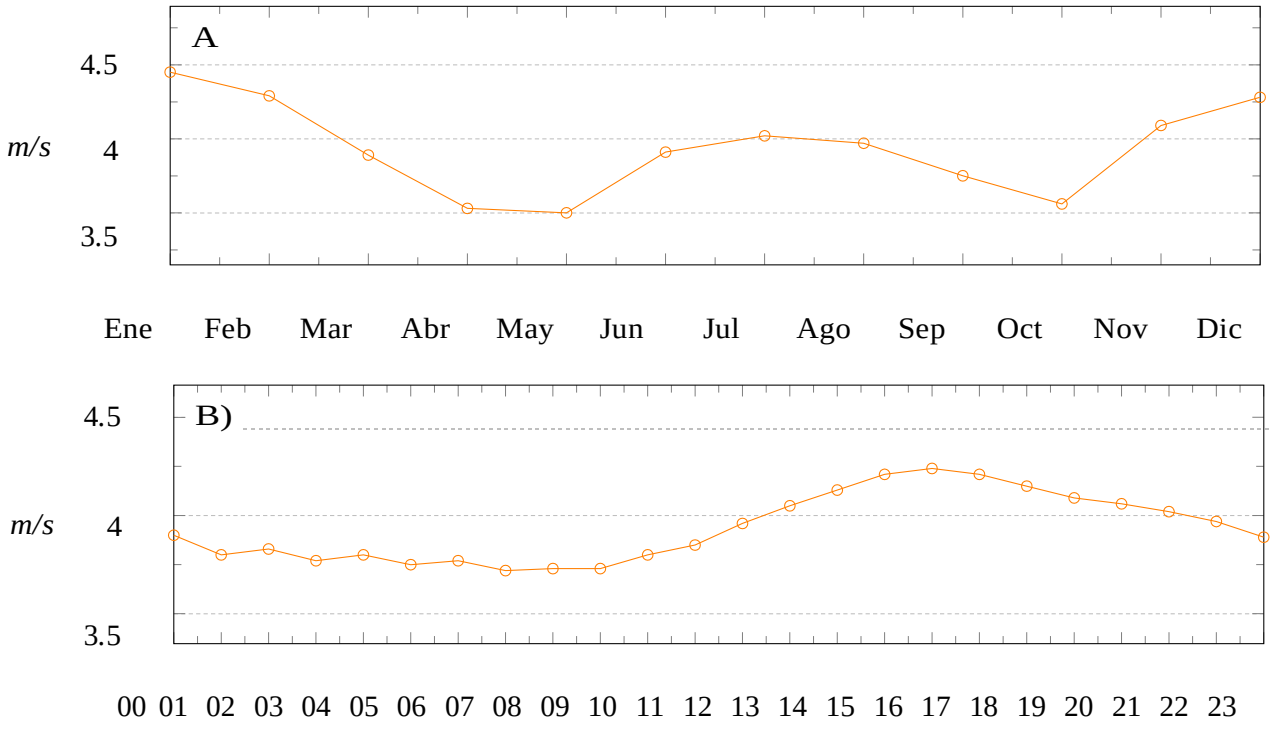

Figura 17: A) Ciclo diario de la magnitud del viento, B) Ciclo anual de la magnitud del viento.

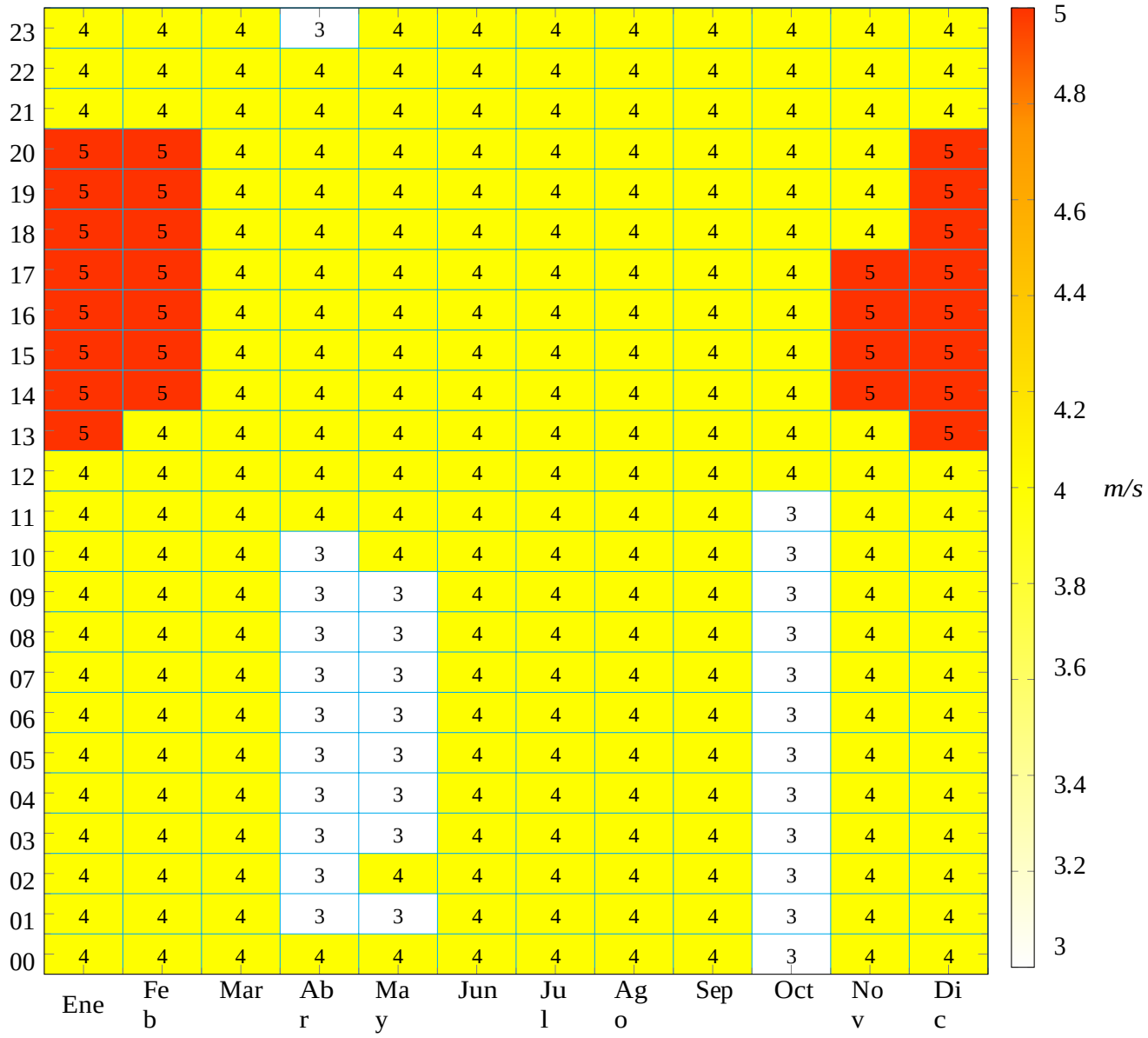

Figura 18: Promedio de la magnitud del viento para cada mes y hora.