



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE UN MICROGRID EN EL PARQUE NACIONAL
GALÁPAGOS – SAN CRISTÓBAL (PTO. BAQUERIZO MORENO)

AUTORA

Karolain Patricia Revelo Ricaurte

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE UN MICROGRID EN EL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS –
SAN CRISTOBAL (PTO. BAQUERIZO MORENO)

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Electrónica y Redes de
Información

Profesor Guía

MSc. Jorge Luis Rosero Beltrán

Autora

Karolain Patricia Revelo Ricaurte

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Diseño de un microgrid en el Parque Nacional Galápagos – San Cristóbal (Pto. Baquerizo Moreno), a través de reuniones periódicas con la estudiante Karolain Patricia Revelo Ricaurte, en el semestre 201910, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Jorge Luis Rosero Beltrán

Máster en Ciencias con Especialidad en Automatización

CI: 1803610185

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Diseño de un microgrid en el Parque Nacional Galápagos – San Cristóbal (Pto. Baquerizo Moreno), de Karolain Patricia Revelo Ricaurte, en el semestre 201910, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Jean Michel Clairand Gómez

Doctor en Ingeniería y Producción Industrial

CI: 1714736681

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Karolain Patricia Revelo Ricaurte

CI: 2000066452

AGRADECIMIENTOS

“A Dios por darme salud y vida para poder lograr cumplir esta meta, a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente desde el primer día. A mi maestro guía y corrector, quienes con su experiencia y paciencia me han brindado el apoyo necesario para cumplir con este trabajo de titulación”.

DEDICATORIA

“A mis padres y hermanos quienes son mi motivación para lograr cumplir mis metas académicas. A mis amistades que de una u otra forma estuvieron pendiente de este largo camino”.

RESUMEN

Durante los últimos años, el gobierno del Ecuador tiene como principal iniciativa garantizar el servicio eléctrico de manera continua y segura para la población mediante el uso de energías renovables, principalmente en las islas Galápagos el cual es considerado como Patrimonio Natural de la Humanidad, logrando reducir el consumo de combustibles fósiles.

El presente proyecto de titulación está basado en el diseño de planificación de una microgrid que provee de energía eléctrica continua a la isla San Cristóbal, exclusivamente al sector residencial, el cual se presenta con mayores valores de consumo. Se propone la creación de tres escenarios posibles los cuales se basan en el costo actual y futuro del diésel.

Para la creación de los escenarios primero se definió el consumo total que tiene el sector residencial de la isla San Cristóbal el cual es de 51797.76 kWh/d, seguidamente se realizó investigaciones acerca de datos meteorológicos como es de la irradiación solar y el viento que se presenta en San Cristóbal. Así como también se hizo un análisis de posibles equipos que pueden formar parte de la microgrid, buscando siempre obtener la menor contaminación posible. Y finalmente toda la información recopilada es ingresada al software Homer Energy, quien permitió seleccionar y analizar el escenario más óptimo de acuerdo a los requerimientos planteados inicialmente.

De acuerdo a los resultados obtenidos se logra verificar que la energía renovable tiene costos elevados, sin embargo, es una manera autosuficiente de contar con energía limpia y continua, la cual beneficia a la humanidad.

ABSTRACT

During the last years, the government of Ecuador has an as main initiative to guarantee the electric service continuously and safely for the population through renewable energies, mainly in the Galapagos Islands that is considered as Natural Patrimony of the Humanity, by reducing the consumption of fossil fuels.

The present undergraduate project studies the planning design of a microgrid that provides continuous electricity to the island of San Cristóbal, exclusively to the residential sector, which has higher consumption values. It is proposed to evaluate three possible scenarios that are based on the current and future cost of diesel.

For the different scenarios, the total consumption of the residential sector of the island of San Cristobal was first defined, which is 51797.76 kWh/d, followed by research on meteorological data, such as solar irradiation and wind power presented in San Cristobal. Furthermore, an analysis of possible equipment that may be part of the microgrid was performed, while obtaining the least pollution possible. Finally, all the information gathered is included in the Homer Energy software, which allowed the selection and analysis of the most optimal scenario according to the initial requirements.

According to the results obtained, it is noted that renewable energy has high prices; however, it is a self-sufficient way to have clean and continuous energy, which benefits humanity.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1 Alcance	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Metodología	3
2. Marco Teórico	4
2.1 Introducción	4
2.2 Smart Grid	4
2.3 Micro Grid	5
2.4 Energía Solar	6
2.4.1 Panel Solar Fotovoltaico	8
2.5 Energía Eólica	11
2.5.1 Turbina Eólica	11
2.6 Energía Basada en Combustibles Fósiles	12
2.7 Otros	14
2.8 Almacenamiento de Energía	15
2.8.1 Tipos de baterías	16
2.9 Inversor de Voltaje	18
2.10 Regulador de Voltaje	22
2.11 Consumo de Energía	23
2.12 Planificación Eléctrica	24
2.12.1 Tipos	25
2.12.2 Definición de variables	25
2.12.3 Criterio de selección de un modelo de planificación	26
3. Diseño de la Planificación	26

3.1	Introducción	26
3.2	Recopilación de Datos	27
3.2.1	Viento	27
3.2.2	Radiación Solar	31
3.2.3	Consumo Eléctrico.....	31
3.2.4	Generación Eléctrica Actual.....	33
3.3	Información de los Equipos.....	34
3.4	Escenarios.....	35
3.4.1	Escenario completo	38
4.	Pruebas y Resultados.....	39
4.1	Introducción	39
4.2	Pruebas.....	40
4.2.1	Escenario 1.67 \$/hr.....	40
4.2.2	Escenario 2.26 \$/hr.....	46
4.2.3	Escenario 2.84 \$/hr.....	51
4.3	Resultados	56
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
5.1	Conclusiones	58
5.2	Recomendaciones.....	59
	REFERENCIAS	61
	ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Smart Grid Power Solutions	5
<i>Figura 2.</i> Diseño de microgrid	6
<i>Figura 3.</i> Conversión de energía solar fotovoltaica	7
<i>Figura 4.</i> Cilindros Parabólicos.....	7
<i>Figura 5.</i> Torre Central.	7
<i>Figura 6.</i> Componentes de un panel solar.....	8
<i>Figura 7.</i> Cronología de los tamaños de turbinas eólicas.....	11
<i>Figura 8.</i> Estructura de un aerogenerador.....	12
<i>Figura 9.</i> Estrategias de planificación.....	24
<i>Figura 10.</i> Ubicación de coordenadas en san Cristóbal	27
<i>Figura 11.</i> Dirección del viento a 10 m (convención meteorológica)	28
<i>Figura 12.</i> Velocidad del viento a 10 m	28
<i>Figura 13.</i> Rango de variación de la velocidad del viento a 10 m	29
<i>Figura 14.</i> Dirección del viento a 50 m (convención meteorológica)	29
<i>Figura 15.</i> Velocidad del viento a 50 m	30
<i>Figura 16.</i> Rango de velocidad del viento a 50 m	30
<i>Figura 17.</i> Radiación normal directa.....	31
<i>Figura 18.</i> Máxima radiación normal directa.....	31
<i>Figura 19.</i> Demanda de Energía eléctrica en San Cristóbal (kWh).....	32
<i>Figura 20.</i> Indicador de consumo de energía eléctrica por grupos.....	33
<i>Figura 21.</i> Generación de energía Eólica – Diésel Summary (2007 - 2015)	33
<i>Figura 22.</i> Promedio anual de irradiación solar	36
<i>Figura 23.</i> Promedio anual del viento	36
<i>Figura 24.</i> Consumo eléctrico de San Cristóbal.	38
<i>Figura 25.</i> Planificación de microgrid de 51797.76 kWh/d.....	39
<i>Figura 26.</i> Tabla de costos.	39
<i>Figura 27.</i> Costo total del sistema	40
<i>Figura 28.</i> Cuadro resumen de costo	40
<i>Figura 29.</i> Flujo de fondos eólica-solar.....	41
<i>Figura 30.</i> Comparación económica de escenarios	41
<i>Figura 31.</i> Cuadro de análisis de producción de energía	42
<i>Figura 32.</i> Estado de combustible	42
<i>Figura 33.</i> Estado de carga de batería	43
<i>Figura 34.</i> Salida de potencia fotovoltaica.....	43
<i>Figura 35.</i> Potencia de aerogenerador	44
<i>Figura 36.</i> Generador 3512 DITA.....	44
<i>Figura 37.</i> Salida de inversor.....	45
<i>Figura 38.</i> Salida de rectificador	45
<i>Figura 39.</i> Emisión del Sistema	45
<i>Figura 40.</i> Costo total del Sistema	46

<i>Figura 41.</i> Cuadro resumen de costos	46
<i>Figura 42.</i> Comparación económica entre escenarios	47
<i>Figura 43.</i> Flujo de fondos.....	47
<i>Figura 44.</i> Análisis eléctrico de microgrid	47
<i>Figura 45.</i> Resumen de combustible del sistema 2,26\$.....	48
<i>Figura 46.</i> Estado de carga de baterías	48
<i>Figura 47.</i> Potencia de aerogenerador	49
<i>Figura 48.</i> Potencia de aerogenerador	49
<i>Figura 49.</i> Energía del generador.....	50
<i>Figura 50.</i> Salida de inversor.....	50
<i>Figura 51.</i> Salida del rectificador	50
<i>Figura 52.</i> Emisiones del sistema de 2,26\$.....	51
<i>Figura 53.</i> Costo total del Sistema	51
<i>Figura 54.</i> Cuadro resumen de costos	52
<i>Figura 55.</i> Análisis de producción de energía	52
<i>Figura 56.</i> Flujo de fondos Grid – Eólica	52
<i>Figura 57.</i> Comparación económica entre escenarios	53
<i>Figura 58.</i> Análisis de resumen de combustible	53
<i>Figura 59.</i> Estado de carga de baterías	54
<i>Figura 60.</i> Potencia de aerogenerador	54
<i>Figura 61.</i> Energía de Generador.....	55
<i>Figura 62.</i> Salida de inversor.....	55
<i>Figura 63.</i> Salida del rectificador	55
<i>Figura 64.</i> Emisiones.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación de paneles según el tipo de célula.</i>	9
Tabla 2. <i>Características técnicas de paneles solares.</i>	10
Tabla 3. <i>Características principales de los rotores eólicos.</i>	13
Tabla 4. <i>Modelos de aerogeneradores.</i>	14
Tabla 5. <i>Modelo de baterías.</i>	18
Tabla 6. <i>Ventajas y desventajas de cada tipo de batería</i>	19
Tabla 7. <i>Modelos de inversores.</i>	22
Tabla 8. <i>Tipos de reguladores de voltaje.</i>	23
Tabla 9. <i>Generadores</i>	34
Tabla 10. <i>Aerogeneradores.</i>	34
Tabla 11. <i>Paneles solares</i>	35
Tabla 12. <i>Batería</i>	35
Tabla 13. <i>Cálculo de consumo promedio del sector residencial en kWh/d.</i>	37
Tabla 14. <i>Resultados por escenarios</i>	56
Tabla 15. <i>Resultados de Inversión y Generación adicional.</i>	57

1. Introducción

Las islas Galápagos fueron declaradas el primer Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO en el año 1978 (El Telégrafo, 2018). Esto gracias a su flora y fauna que abarca tanto superficie terrestre como reserva marina, razón por la cual cada proyecto que se desee ejecutar, van de la mano con la conservación y correcto manejo de los ecosistemas que tiene el archipiélago.

En el último año se estima un incremento de un 6% en el consumo de energía eléctrica en la isla San Cristóbal, debido al incremento de su población 7199 habitantes (INEC, 2016), ya sea de clientes residenciales, comerciales, industriales, alumbrado público, entre otros.

Según la Empresa Eléctrica Provincial Galápagos, el consumo de combustible para el uso de energía eléctrica en los últimos años tiende a ser menor en San Cristóbal, según los indicadores de gestores, en el último año se registró una variación del -50,59% entre los meses de mayo - abril del 2017 (ELECGALAPAGOS, 2018), esto se debe a que la isla San Cristóbal está realizando pruebas con tecnologías de

El uso de energías renovables a nivel mundial según “Renewables 2017 Global Status Report” a finales del 2016 es del 24.5% (REN21, 2017). La de energía renovable para las islas San Cristóbal es un tema de gran importancia, ya que así reducimos de manera parcial el consumo de combustibles fósiles (diésel en el caso de la isla San Cristóbal), evitando el daño ecológico de la flora y fauna (B.Jimenez, 2007).

La microgrid, es un sistema de pequeña potencia, el cual utiliza energía limpia como solar, térmica, eólica, hidroeléctrica, entre otras, de manera individual o combinándolas, nos ayuda a realizar una estructura energética capaz de cumplir con parámetros de cuidado con la naturaleza y como solucionar una alimentación de manera remota en zonas determinadas, cuenta con un gran potencial de desarrollo para un futuro debido a que brinda calidad y certeza de una energía independiente.

1.1 Alcance

En el presente trabajo de titulación se desarrollará el diseño de una microgrid para la provincia de Galápagos, cantón San Cristóbal. Esto con la finalidad de proveer de energía al sector residencial del área urbana del cantón mencionado, para esto se bosquejarán diferentes escenarios posibles de combinación de fuentes de generación renovable.

También se determinará si la microgrid que proveerá de energía al sector mencionado, se conectará a la red convencional, que es generada actualmente por combustible fósil, donde utilizará la energía renovable como backup, o si la microgrid de energía renovable será independiente, teniendo como backup a la energía que es producida por diésel.

Uno de los principales puntos en el diseño, consiste en tomar en cuenta los materiales que serán parte de la microgrid, teniendo como principal consideración que sean elementos que no atenten contra la flora y fauna del patrimonio natural, así mismo se deberá considerar la variación de clima y la resistencia al medio que presenta la isla de San Cristóbal.

La finalidad es obtener un diseño integrado que cuente con energía renovable en la que el combustible sea usado como backup en casos de presentarse alguna caída de la energía, esto incluyendo la reducción del uso de combustibles fósiles y del costo económico de kWh, debido a que la energía en Galápagos es mucho más alta en comparación al Ecuador continental, esto se debe a que el combustible debe ser transportado por medio de barcos, el cual corre el riesgo de atentar contra el medio ambiente al momento de que se llegue a derramar.

1.2 Justificación

En Galápagos, el cuidado del patrimonio natural de la humanidad incluye el tema del uso de energías renovables, las cuales son energías naturales y limpias. La reducción del consumo de galones de combustible (diésel) ayuda tanto en la conservación del medio ambiente como en el ámbito económico del cliente que se beneficia de la energía.

Con la creación de la microgrid se implementará el uso de energía renovable en la isla San Cristóbal. En la actualidad, el diseño de una microgrid es de gran importancia, debido a que se podrá implementar en la vida real de acuerdo al mejor diseño obtenido, tratando que el combustible, tienda a ser utilizado tan solo como backup, y es así como posteriormente se podrá realizar un diseño para cada isla poblada, logrando un Galápagos sin altos niveles de uso de combustibles fósiles, para la producción de energía.

Debemos tomar en cuenta que, el tema de las microgrid es algo beneficioso a nivel mundial, ya que se espera que las energías renovables tengan un mayor porcentaje de uso ante las no renovables con el objetivo principal, cuidar nuestro medio ambiente y que así el diseño más óptimo se logre alinear a la propuesta gubernamental de “Cero combustibles fósiles para Galápagos” (MEER, s.f.).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una microgrid para consumo residencial de la zona urbana en la isla San Cristóbal, mediante el uso de energía renovable.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el consumo de energía para el sector residencial en la zona urbana de la isla.
- Considerar condiciones climáticas y logísticas con las que cuenta la isla para el diseño de la microgrid.
- Usar un software de diseño especializado para la selección de equipos.
- Realizar el análisis financiero del sistema.

1.4 Metodología

Para el desarrollo de este proyecto de titulación se utilizarán las siguientes metodologías:

- Metodología exploratoria.
- Metodología deductiva.

- Metodología analítica.

Las metodologías indicadas se enfocan en diseñar una microgrid que genere energía para el sector residencial de San Cristóbal, primero se realizará una búsqueda de información técnica de los materiales (equipos) como: panel solar, turbinas eólicas, baterías, regulador de voltaje, entre otros, que serán parte de la microgrid, aquí sabemos si es útil o no para el funcionamiento correcto del diseño. También se debe obtener información del sector donde se aplicará el diseño, como cuáles son las características climáticas y geográficas

Seguidamente, se realizará la revisión de más casos que se han dado a nivel mundial, sobre el uso de energías limpias o renovables, se empieza a analizar que es útil y que no para poder obtener resultados de simulaciones, es decir de nuestra información general lo aplicaremos al diseño en particular.

Y finalmente, se obtendrá la manera de como suplir de energía al sector residencial de la isla San Cristóbal. Esto se ejecutará mediante el software Homer Energy, en el cual se realizará cálculos numéricos, simulaciones y correcciones con la finalidad de obtener el mejor diseño con el uso de energía limpia.

2. Marco Teórico

2.1 Introducción

En esta sección se muestra definición de una Micro Grid, el concepto de diferentes tipos de energías y detalles generales de los equipos que son parte de una Micro Grid.

2.2 Smart Grid

La red inteligente o Smart Grid, es un sistema innovador que implementa las tecnologías de la ingeniería dentro de un sistema eléctrico potencia, fundamentándose en la generación, producción, monitoreo, transmisión y distribución de energía eléctrica, con la finalidad de complacer la demanda del usuario final (IEA, 2011). Promueve la optimización e integración de

instalaciones renovables de grandes o pequeños tamaños como son paneles solares, turbinas eólicas, baterías, transformadores, entre otros elementos como se observa en la Figura 1. Su función es mantener un suministro eléctrico de calidad, eficiente, fiable, sostenible y seguro. La Smart Grid es una solución conveniente para contar con un sistema que tiende a reducir al mínimo el impacto ambiental y costos.

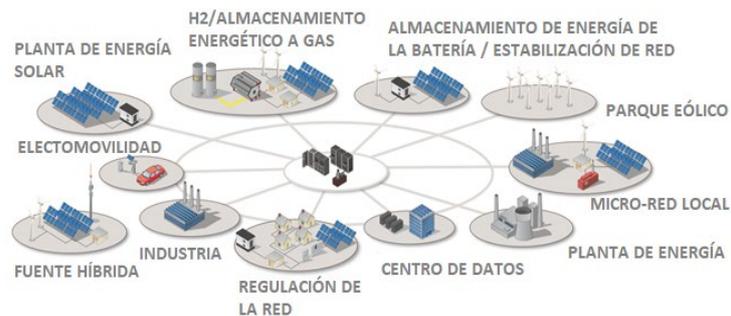


Figura 1. Smart Grid Power Solutions

Tomado de (Green Energy Latin America, 2017)

2.3 Micro Grid

Una microrred es una fuente que interconecta fuentes de generación y cargas, contando con equipos de almacenamiento, logrando ser capaz de operar de forma aislada o no aislada (CERTS, 2019). Cumple las expectativas de obtener energía confiable y segura, por ejemplo, que logre gestionar variaciones de frecuencia o voltaje.

Los tipos de microgrid se diferencian entre las que se encuentran conectadas a la red, las cuales pueden brindar servicios complementarios de voltaje o frecuencia. A diferencia de las que no se encuentran conectadas a la red, quienes cuentan con generadores que logran responder ágilmente frente a variación de consumo, para que no se vea afectada la tensión y frecuencia. (CENER, s.f.).

En la Figura 2 se muestra el ejemplo de configuración de una microgrid y sus componentes principales.

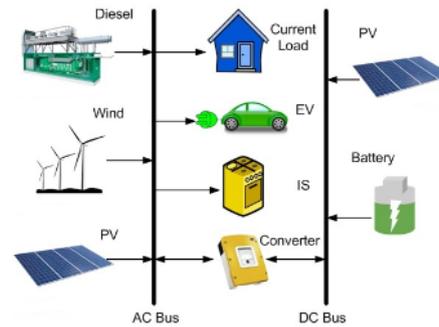


Figura 2. Diseño de microgrid

Tomado de (Clairand, Arriaga, Canizares, & Alvarez, 2018)

2.4 Energía Solar

Es producida por el Sol, mediante rayos UV, luz y calor. Es la principal energía renovable o limpia, debido a su abundante presencia en la Tierra, convirtiéndose en un bien ilimitado, con la que se logra generar luz, calor y electricidad. Según el CONECEL y CIE, la irradiación promedio con la que cuenta el Ecuador es $4574,99 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ (Vatios hora por metro cuadrado por día) (CIE, 2008) lo cual logra ser una fuente conveniente para generación de energía. Adicionalmente, es aprovechada por los humanos desde siempre, en el día a día. En la actualidad existe dos formas de adquirir electricidad de la energía solar, las cuales son:

- **Fotovoltaica:** La energía fotovoltaica es una de las energías limpias que ha tenido alto crecimiento en el mundo debido a que es una fuente inagotable y tiende a reducir la contaminación. Se basa en transformar de manera directa la radiación solar en energía eléctrica, por medio de los paneles solares. Para lograr transformar los rayos solares en electricidad, los fotones impactan con los electrones de las células fotovoltaicas, haciendo que estos salten de sus capas de valencia y generen pequeños flujos de electrones conocidos como corriente eléctrica, tal como muestra la Figura 3.

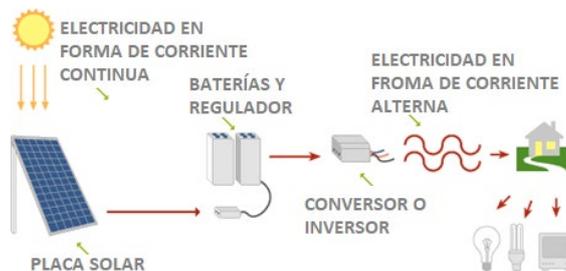


Figura 3. Conversión de energía solar fotovoltaica

Tomado de ("Energía Solar," s.f.)

- **Termosolar o solar térmica.**- utiliza el calor que genera el sol y se basa en la concentración óptica de los rayos solares sobre un punto (Estrada Gasca, 2013). Su principio de funcionamiento puede brindar agua caliente para el consumo del hogar o su vez se basa en el calentamiento de un fluido que se evapora y genera movimiento mecánico que posteriormente es transformado en electricidad por medio de un generador eléctrico convencional. Existen varias tecnologías que se aplican para extraer, almacenar y distribuir este tipo de energía, son de gran importancia los cilindros parabólicos y la tecnología de torre central. En la Figura 4 y Figura 5 se aprecia el procedimiento de estas dos tecnologías mencionadas.

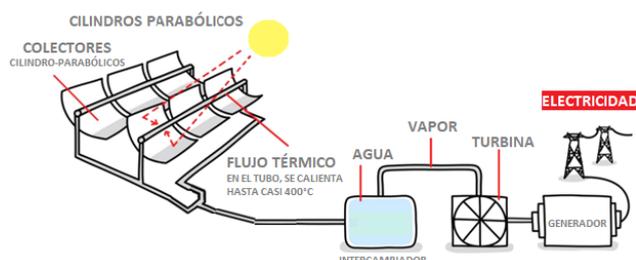


Figura 4. Cilindros Parabólicos.

Tomado de (ACCIONA, 2015)

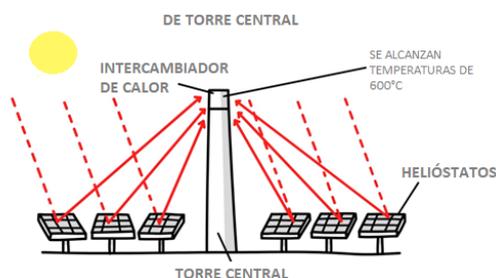


Figura 5. Torre Central.

Tomado de (ACCIONA, 2015)

2.4.1 Panel Solar Fotovoltaico

También conocido como módulo fotovoltaico, es un conjunto de células que se encuentran vinculadas, ensambladas y protegida ante elementos externos. Su función principal es la de brindar energía a instalaciones, por medio de las irradiaciones del sol, usando su efecto fotoeléctrico.

La Figura 6, presenta un diseño acerca de los paneles solares fotovoltaicos, los que están constituidos principalmente por las células fotovoltaicas, las cuales se convierten en el componente de mayor importancia. Si la cadena de células está conectada en serie, aumenta la tensión y en paralelo aumenta la intensidad. Los demás componentes del panel solar cumplen con la protección y funcionalidad.



Figura 6. Componentes de un panel solar

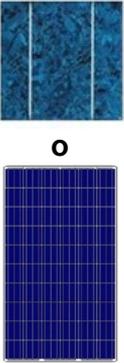
Tomada de (TESLA, 2015)

En la actualidad, existen gran variedad de paneles solares, tal como se muestra en la Tabla 1, donde están clasificados según su tipo de célula.

También, existen diferentes tecnologías fotovoltaicas que sirven como alternativas a las ya mencionada en la tabla, tan solo no son muy comerciales y son las siguientes: los paneles de películas delgadas, los cuales se basan en telurio de cadmio y las sensibilizadas de colorante, la cual se basa en materiales orgánicos.

Tabla 1.

Clasificación de paneles según el tipo de célula.

TIPO DE CÉLULAS					
Tipo	Características	Obtención	Rendimiento		
			Teórico	Módulos convencionales	Laboratorio
Monocristalino 	<ul style="list-style-type: none"> • Colores oscuros, azulados y metálicos. • Estructura cristalina ordenada. 	Silicio puro dopado con Boro.	27%	16%	24.7%
Policristalino 	<ul style="list-style-type: none"> • Colores azulados o grises metalizados. • Estructura organizada por partes separadas. 	Silicio puro dopado con Boro (menor cantidad de fases de cristalización)	27%	14%	19.8%
Amorfo 	<ul style="list-style-type: none"> • Colores marrones. • Funciona con pequeñas potencias. 	Degradación de capas finas sobre vidrio	25%	8%	13%

Adaptado de (Serrano, 2016)

En la Tabla 2, se compara algunos paneles solares, que están detallados con sus características principales:

Tabla 2.

Características técnicas de paneles solares.

PANELES SOLARES	CORA-250W	SW 300 MONO	TSM-DE05A(II)	Peimar SG300MB F	Peimar SG310M BF
Dimension (mm)	640x992x40	1675x1001x33	1650x992x35	1.627 m ²	1.627 m ²
Peso (kg)	19.5 kg	18 kg	18.6 kg	18 kg	18 kg
Material	Monocristal	Monocristal	Monocristal	Monocristal	Monocristal
Eficiencia	15.30%	17.89%	19.2%	19.1%	19.1%
Durabilidad (años)	25	25	25	30	30
Temperatura (°C)	- 40/ 85	- 40/ 85	- 40/ 85	- 0.4 / 25	- 0.4 / 25
Pmax (Wp)	250	300	315	1000	1000
Voc (V)	37.8	40.1	40.5	-	-
Imp (A)	8.17	9.57	9.46	-	-
Vmp (V)	30.65	31.6	33.3	-	-
Isc (A)	8.78	10.23	10	-	-
Curva	<u>Anexo 1</u>	<u>Anexo 2</u>	<u>Anexo 3</u>	-	-

Adaptado de (SolarWorld, s.f.)

2.5 Energía Eólica

Se crea a partir de los movimientos de las masas de aire, también llamadas viento. De igual manera que muchas fuentes de energía limpia, se deriva del sol, en el momento que existen cambios de temperatura entre las zonas geográficas del planeta se obtiene el tráfico del aire. Los aerogeneradores o molinos de viento, convierten por medio de sus aspas la energía cinética en eléctrica. Sus tamaños varían a nivel mundial, como la Figura 7 muestra, desde el más pequeño con un tamaño de 15 metros y el más grande con una altura aproximada de 260 metros. Históricamente la energía eólica se toma en cuenta a finales de los 80's para la elaboración de energía eléctrica (Benhamou, 2016).

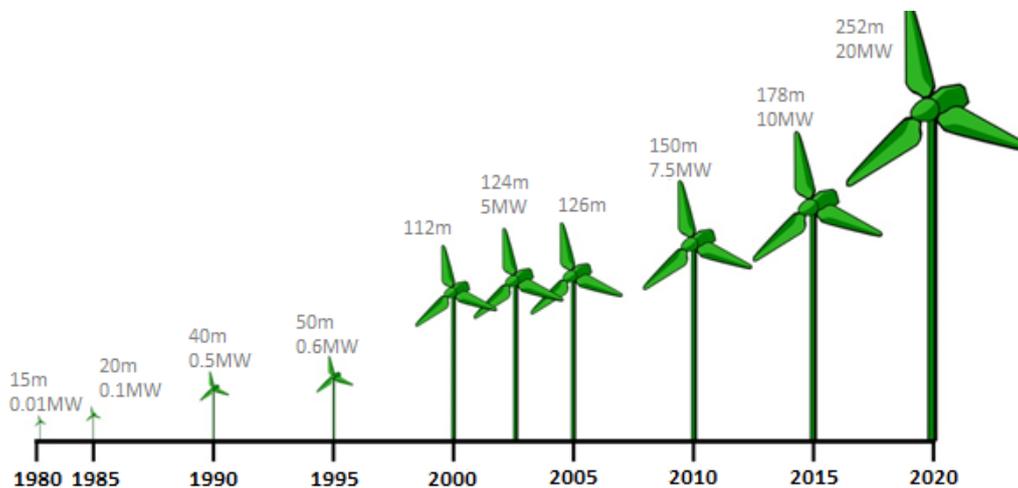


Figura 7. Cronología de los tamaños de turbinas eólicas.

Tomado de (Daniel Civantos, 2011)

2.5.1 Turbina Eólica

La utilización del viento para temas energéticos se da hace varios siglos atrás. En 1888 Brush elaboró lo que en la actualidad se contempla como la primera turbina eólica de 17 metros de diámetro de rotor. Actualmente existe gran variedad de turbinas, en la Figura 8, se presenta un diseño de las principales partes que está conformado un aerogenerador.

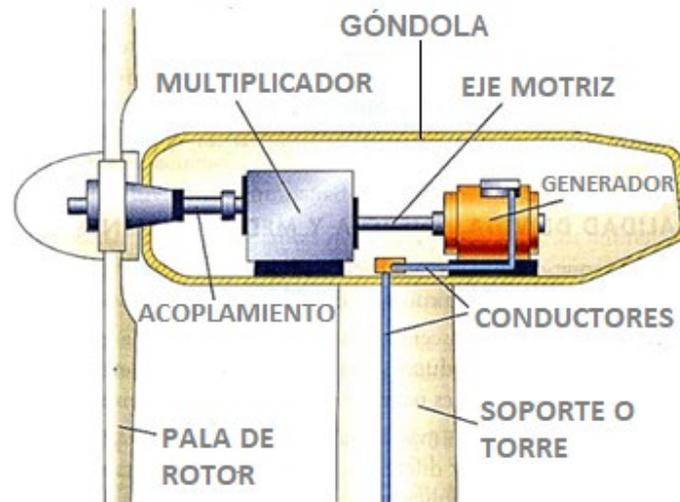


Figura 8. Estructura de un aerogenerador

Tomado de (Navarro y otros, 2016)

El soporte o torre es donde se sujeta el rotor con el objetivo de llegar a una altura ideal. Tiene una forma cilíndrica y debe ser de gran resistencia ante los vientos que presente el lugar donde será instalado. El rotor percibe el viento y lo transforma en energía, está compuesto por las palas, el eje y el buje.

La góndola es quien se encarga de resguardar los componentes de transformación de energía como: el generador, eje de alta y baja velocidad, multiplicador y conductores.

La Tabla 3 muestra de manera resumida las características que tienen los rotores más usados, tanto en eje horizontal como en vertical.

2.6 Energía Basada en Combustibles Fósiles

La energía basada en combustible fósil se da por la combustión del combustible fósil, razón por la que este tipo de energía pertenece a la no renovable, ya que presenta grandes niveles de contaminación hacia el medio ambiente. Según el informe de la IEA, por sus siglas en inglés (Agencia Internacional de Energía), la presencia de los combustibles fósiles en el mundo es del 80% (IEA, 2013), en la actualidad este porcentaje se mantiene, lo cual significa que los combustibles fósiles controlan la demanda a nivel mundial de la energía a pesar de ser limitada y de alto valor económico.

Tabla 3.

Características principales de los rotores eólicos.

Eje	Tipo de Rotor	Rendimiento Máximo	Características
HORIZONTAL	Holandés	0,17	<ul style="list-style-type: none"> • 30 - 60 Kw • Alto par de arranque • Velocidad media • 4 palas • Diseño ineficiente de palas
	Multipala Americano	0,15	<ul style="list-style-type: none"> • 0,4 - 6 Kw • Alto par de arranque • Velocidad baja • 12 a 15 palas • Muchas pérdidas
	Perfil Aerodinámico	0,47	<ul style="list-style-type: none"> • 0,5 - 3200 Kw • Alto par de arranque • Velocidad alta • 2 a 4 palas • Alto rendimiento
VERTICAL	Savonius	0,30	<ul style="list-style-type: none"> • 0 – 1,5 Kw • Alto par de arranque • Velocidad baja • 2 a 4 palas • Sin necesidad de orientación
	Darrieus	0,35	<ul style="list-style-type: none"> • 5-500 Kw • Sin necesidad de orientación • No arranca solo • Velocidad alta • 2 a 3 palas • Buen rendimiento

Adaptado de (Jaime Moragues y Alfredo Rapallini, 2003)

Tabla 4.

Modelos de aerogeneradores

MODELOS	ENAIR 30¹	WS-1.5 kW²	AELOS-H 10Kw³	ZH1.5kW 4	SWG 5Kw⁵
Altura (m)	12,15 y 18	12,14 y 18	12,18 y 24	12	135
# Aspas	3	3	3	3	3
Longitud aspas (m)	1.9	2.9	4	1.6	-
Tipo generador	SYNC	SYNC	SYNC	SYNC	SYNC
Tipo Voltaje	DC	AC 24/48/110/120 v	DC 300/450 v	DC 24/48v	AC
Potencia (W)	3000	1500	1000	15000	4200 kW
Pitch Control	SI	SI	SI	SI	SI
Velocidad rotor (r.p.m)	250	250	180	26.9	11.6
Diámetro (m)	3.8	3.3	8	44	127
Área barrido (m²)	8.1 – 13.2	-	50.2	1520.5	.12668
Velocidad de arranque (m/s)	2	3	2.5	2.5	3
Velocidad nominal (m/s)	10 – 12	12	10	9	10

Adaptado de (ENAIR, s.f.), (Sonkyo Energy, s.f.), (AEOLOS Wind Turbine, s.f.)

2.7 Otros

Existen otros tipos de energías renovables que en la actualidad se encuentran en crecimiento, a continuación, se explican sobre dos de ellas:

- **Geotérmica:** Este tipo de energía proviene del calor almacenado que se presenta debajo de la superficie terrestre y que provoca fenómenos geológicos como erupción volcánica, terremotos, movimientos de las placas tectónicas, pero también logra la producción de energía eléctrica. Si la temperatura de la tierra está entre los 30 – 80° C (Consejo Europeo de Energías Renovables, 2010) es utilizada en sectores residenciales, pequeñas industrias y agricultura, a diferencia de si se encuentra a más de 100° C los recursos geotérmicos ya generan electricidad. Para la explotación de esta tecnología se debe introducir un fluido el cual se convertirá en vapor, debido al calor que se encuentra. Seguidamente el vapor es transformado a energía mecánica, para lograr obtener electricidad. Adicionalmente, como dato histórico, en el Ecuador las investigaciones respecto a la energía geotérmica se dieron desde el año 1978, y en la actualidad el país cuenta con alrededor de 16 zonas con 21 lugares que son de gran interés geotérmico (INER, 2018)
- **Mareomotriz:** Es la energía producida por el océano mediante la variación de altura o fuerza que tiene las mareas, corrientes o las olas, incluso se puede clasificar por el nivel de salinidad, estos recursos son de gran potencial para la generación de energía limpia para un futuro (Chudnovisk, 2017). Esta tecnología, es parcialmente nueva se basa en la hidroelectricidad debido a que utiliza presas o turbinas marinas para la generación de electricidad. Económicamente, esta energía no es factible ni viable debido a que tiene un alto costo sus recursos para la correcta implementación y ejecución.

2.8 Almacenamiento de Energía

Los sistemas de almacenamiento energético permiten conservar energía, para que después logre ser distribuida al momento que sea necesario, es decir un almacenamiento de energía puede ser usado en el momento que el recurso principal se encuentre escaso. Para lograr almacenar energía existen varios recursos como se detalla a continuación:

- **Baterías:** son almacenadores de electricidad en modo de energía química, sus compuestos logran intercambiar los electrones, y pasar por un circuito para finalmente generar electricidad. Existen varios tipos de baterías, pero las más reconocidas para casos de almacenamiento de energía son las baterías de Ion litio, las de NaNiCl, baterías de flujo, las de gel entre otras que se detallaran posteriormente.
- **Aire comprimido:** el almacenamiento de energía por CAES (Compressed Air Energy Storage), traducido al español significa almacenamiento de energía mediante aire comprimido, es donde el aire es almacenado en posos naturales o artificiales bajo la tierra durante horas de niveles bajos de demanda, mientras que, en horas de alta demanda, este aire se distribuye para mover un turbogenerador.
- **Hidrógeno:** este almacenamiento se ejecuta con la tecnología del hidrógeno, en donde almacena H_2 , y pone en práctica la electrólisis, utilizando dos recursos como son el agua y la electricidad. El agua es descompuesta mediante la electricidad, obteniendo como resultado H_2 y O_2 . Posteriormente el H_2 se comprime y se almacena en un envase con presión hasta ser utilizado como un carburante. La combinación del hidrógeno que fue almacenado y el oxígeno de la atmósfera vuelven a formar agua, y en ese momento se retorna energía que fue captada en la electrólisis.

2.8.1 Tipos de baterías

Son el conjunto de más de una celda o pila que se encuentran enlazadas entre sí, con la finalidad de acumular energía que procede de otras fuentes y ceder carga eléctrica. Existe una gran variedad de tipos de baterías, como se observa en la Tabla 6.

Baterías de plomo

Las baterías de plomo – ácido, son la forma de almacenamiento más antigua, es de gran importancia para sistemas automóbiles, energía eléctrica como en: bancos de almacenamiento para aerogeneradores y/o paneles fotovoltaicos,

están compuestas de una placa de plomo cubierta de óxido de plomo, y plomo esponjoso, usando como electrolito ácido sulfúrico.

Batería AGM

Es otro tipo de batería plomo-ácido sellado, su característica principal es que evita la pérdida de oxígeno e hidrógeno o gases.

Batería de Gel

Está formado por materiales de alta pureza, los electrolitos son gelatinizados, lo que le hace ser una batería un poco delicada ante las de tipo AGM.

Baterías de VRLA

También conocidas como baterías selladas, no necesitan de mantenimientos. Son baterías que resisten escapes ante sobrecargas o fallos de algún elemento.

Baterías de Litio Ion

Estas baterías fueron comercializadas desde 1990. Cuenta con ventajas principales como el de acumular gran cantidad de energía, teniendo avances respecto a peso, potencia y la capacidad de almacenamiento. El electrolito respectivo es la sal de litio

Baterías de NiCd

Baterías de níquel – cadmio, aparecen en los 50s, son baterías recargables de gran utilidad para temas industriales o domésticos. El mantenimiento que brindan a este tipo de baterías no es frecuente, puede contar con descargas por largos periodos.

Baterías de NaS

Baterías de sulfuro de sodio, nace en los 60s y se desarrolla en los 70s. Físicamente tiene forma cilíndrica donde tienen el Sodio. Se relacionan con la calidad de la energía, debido a su ágil respuesta.

Baterías de NiMH

Baterías recargables que nacieron en el 1970, utilizan hidrógeno para producir energía. A diferencia de las Ni-Cd, las NiMH eliminan el cadmio, lo que las transforma en baterías amigables con el medio ambiente. En actualidad, son empleadas en teléfonos móviles, laptops, automóviles eléctricos, entre otros.

Baterías de Flujo

En batería de flujo la energía eléctrica es conservada como energía química, se trata de una batería recargable. Está conformada por un stack, dos depósitos de flujo de Zn-Br (Bromuro de Zinc) o VRB (Vanadio), el sistema que se encarga del correcto control o funcionamiento de la batería y, por último, dos circuitos hidráulicos para lograr la conexión entre el stack y los depósitos.

Baterías líquidas

Este tipo de baterías se usan para el almacenamiento de energía en grandes escalas. Se muestran como baterías solubles en el agua, perdiendo tan solo el 1% cada 1000 ciclos. Harvard desarrolló una batería líquida que tiende a obtener una vida útil mayor a los 10 años, y a su vez su costo es menor.

En la Tabla 5 se observa modelos de baterías posibles a ser utilizados en el simulador.

Tabla 5.

Modelo de baterías

BATERIA	UCG288-12	Iron Edison	UCG55-12
Voltaje nominal (V)	12	12	12
Corriente máxima de descarga (A)	2500	50	-
Capacidad (100h)	288 Ah	100 Ah	55Ah
Vida útil (años)	15	15	15

2.9 Inversor de Voltaje

Es un sistema que se encarga de transformar voltajes de entrada de corriente continua (DC) a voltajes de salida de corriente alterna (AC), tomando en cuenta características de voltaje y frecuencia.

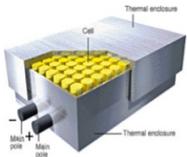
Las energías limpias usan baterías que generan corriente continua, a diferencia de los equipos electrónicos que son en corriente alterna, es por esta razón que la función del inversor de voltaje es convertir el flujo que se obtiene de la DC, la cual puede ser generada por aerogeneradores o paneles solares y cambiarla a maneras periódicas como lo es la corriente AC, de manera regular, para que la energía resultante sea empleada en la mayor cantidad de recurso que se encuentren dentro de una red eléctrica, la cual compete al sector residencial de la isla San Cristóbal.

Tabla 6.

Ventajas y desventajas de cada tipo de batería

Baterías	Ventajas	Desventajas	Eficiencia	Durabilidad
<p>PLOMO</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Presente 50% en el mercado debido a precios económicos. • Alta facultad de suministrar picos altos de corriente, en descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo es un químico venenoso y pesado. • Mantenimiento muy seguido. 	70 - 85 %	5 - 10 años
<p>AGM</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta tensiones de carga de baterías tradicional. • Resistencia interior baja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo. • Vida útil según la calidad de sus componentes. • Vulnerable ante descarga profundas. 	95%	6 – 8 años
GEL	<ul style="list-style-type: none"> • Alta vida útil sin 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento 		9 - 12 años

	<p>mantenimientos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se cargan a bajas tensiones. 	<p>o en temperaturas altas.</p>		
<p>VRLA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Libre ante mantenimientos • Principio de recombinación • Proceso para reciclado viable 	<ul style="list-style-type: none"> • No supera 800 ciclos. 	<p>Energía < 50Wh/kg</p>	<p>5 – 10 años</p>
<p>Litio Ion</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia de 420 W/kg • Densidad de energía > 290 Wh/l 	<ul style="list-style-type: none"> • Vulnerable a las sobrecargas y sobredescargas. • Precios elevados. 	<p>Energía > 140 Wh/kg</p> <p>Eficiencia 78%</p>	<p>5 - 15 años</p>
<p>NiCd</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 % mayor en densidad de energía que las de plomo. • Vida cíclica > 1500 • Baterías robustas y fiables 	<ul style="list-style-type: none"> • Precios costosos • Cadmio es de alta contaminación. 	<p>Energía > 60Wh/kg</p>	<p>8- 25 años</p>

<p>NaS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Respuestas rápidas y vida útil larga. • Apto para picos de demanda. 	<ul style="list-style-type: none"> • No sirve para UPS. • Mantenimiento de voltajes y temperaturas. 	<p>Eficiencia a 80%</p>	<p>10-15 años</p>
<p>NiMH</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia > 200W/kg • 40% mayor en densidad de energía que Ni-Cd • Menos contaminante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos mayores a las baterías de Ni-Cd. • Poca disponibilidad en el mercado. • Alto nivel de autodescarga. 	<p>Energía > 90 Wh/kg</p>	<p>2 -5 años</p>
<p>FLUJO</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • No usa metales contaminantes. • Baterías flexibles y escalables ante el almacenamiento. • Fácil mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja densidad de energía. • Poco eficiente. 	<p>Eficiencia a 70% – 85%</p>	<p>5-15 años</p>
<p>LIQUIDA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Solubles en agua. • Baterías no tóxicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas bajo cero. 		<p>10 años</p>

Adaptado de (Ultracell, s.f.), (Chemical, s.f.)

Tabla 7.

Modelos de inversores.

Modelo	Voltaje entrada	Voltaje salida	Potencia máxima	Rendimiento
Samlex - 3000K- 124	12 -24 Vcd	120 Vca	Potencia nominal CA: 3000 W Potencia máxima CA: 6000 W	91%
EYEN / OPS- 3000W	10 - 15 Vcd	110 – 115 - 120 Vca	Potencia salida CC: 2000 W	88%
NBRATO / GAIA 2000G2- WAL-LCD-S	45 -90 Vcd	190 – 260 Vca	Potencia de salida máxima: 2000W	>92%
CHZIRI ZVF300- G110/P132T4M	220 – 380 Vca	0 -380 Vca	Potencia salida AC: 110000 W – 132000 W	92%
TW-1500	12 – 24 - 48 Vcd	100 - 120 Vca	Potencia continua AC: 1500 W Potencia máxima salida : 3000 W	90%
15/25 kW- WIND- INTERFACE	Vca: 0 – 400 V	50 – 600 Vdc	Potencia máxima salida: 25000W	99.6%

Adaptado de (Samlex America, s.f.), (Alibaba, s.f.-c), (Alibaba, s.f.-a), (Alibaba, s.f.-b), (Zohan, s.f.), (ABB, s.f.)

2.10 Regulador de Voltaje

Es el equipo que cumple la funcionalidad de recibir un voltaje de salida constante, sin importar las variaciones que se presenten en la línea o red y en la

carga. Es sí como protege a la batería de las sobredescargas, y prevenir que el consumo de CC descargue a los niveles mínimos una batería.

En la actualidad existen dos maneras de dar uso a un regulador o estabilizador de voltaje. La primera se basa en contar con dos reguladores, uno para los paneles solares y otro para los aerogeneradores. La segunda es la factibilidad de contar con un regulador híbrido, el cual se encarga de mantener reguladas las dos energías limpias ya mencionadas. En la Tabla 8 se encuentra algunos ejemplos de reguladores.

Tabla 8.

Tipos de reguladores de voltaje

Reguladores	SmartSolar MPPT 100/50		StecaSolarix PRS 3030 (led) 30 Ah		FLEXmax 80		JW-2450 EOLICO	
Tensión batería (V)	12	24	12	24	12	24	12	24
Potencia nominal FV (W)	400	700	-	-	1000	2000	300	600
Corriente de carga nominal (A)	50		-		80		37.5	
Eficiencia	98%		-		98.44%		-	-
Tensión máxima (V)	100		47		150		-	-
Autoconsumo	30mA	20mA	-	-	-	-	-	-
Tensión absorción (V)	14.4	28.8	14.4	28.8	-	-	-	-
Máxima corriente de corto (A)	35	60	10, 15, 20 , 30		-	-	-	-

Adaptado de (Victron Energy, s.f.)

2.11 Consumo de Energía

Es el uso de electricidad en un evento determinado, tiene enfoque residencial, comercial, industrial y se mide en kilovatios hora. Este consumo tiene un valor de acuerdo a qué tipo de cliente pertenece, los cuales se clasifican en:

- **Residencial:** se determina como consumidor residencial a cualquier tipo de persona que usa la energía eléctrica exclusivamente con fines domésticos, sin dejar atrás a las personas de bajos recursos económicos y de bajo consumo de energía.
- **Comercial:** se determina a todas las personas que son consumidores de energía que es utilizada con fines lucrativos.
- **Industrial:** se determina a todas las personas que consumen energía eléctrica con la finalidad de elaborar o transformar productos, incluye a las personas que forman parte de la agroindustria.
- **Alumbrado Público:** es un servicio fundamental para una comunidad, se establece para uso de vías, parques, entre otros espacios, que no están a cargo de una persona natural o jurídica. Es garantizado por las empresas municipales, por medio de un suministro definido o a un equipo de medición.

2.12 Planificación Eléctrica

La planificación cumple la función de analizar de donde se obtendrá recursos energéticos para implementarlos en posibles escenarios que cuenten con disposición y un correcto comportamiento respecto al consumo de la energía determinada para un sector, con la finalidad de satisfacer la demanda de la forma más segura y económica. De manera general para una planificación primero se toma en cuenta el estado inicial de área que esta como objeto, especificaciones cuantitativas, estrategias que se ejecutan para llegar a los objetivos.



Figura 9. Estrategias de planificación

Tomado de (CONECEL, 2013)

2.12.1 Tipos

Corto: Esta planificación se presenta de manera anual, se ejecuta en manera diaria o semanal con la finalidad de operar a tiempo real. Se basa en la supervisión y seguimiento de la transmisión que brindan las fuentes de generación.

Medio: Esta planificación se presenta en un rango de cuatro años, en donde se basa al crecimiento de la demanda, se toma en cuenta las reservas de potencia con la finalidad de brindar una operación confiable. En esta etapa se decide si se expande la planificación.

Largo: En esta planificación de acuerdo a tiempo se consideran rangos de cinco años hasta quince años, según los alcances planificados. Aquí se encuentran objetivos globales de un sistema eléctrico ya sea para generación como transmisión de energía. También se toma en cuenta los recursos energéticos, sean estos renovables o no renovables.

2.12.2 Definición de variables

***NPC*:** Costo Presente Neto [\$]: Es el valor que representa el costo del ciclo de vida del sistema total. Contiene todos los ingresos y costos que se dan durante la vida útil del proyecto.

***COE*:** Costo de Energía Nivelado [\$/kWh]: Es el costo promedio sobre la energía eléctrica en kWh que produce todo el sistema. Esta métrica puede servir para realizar comparaciones con otros sistemas.

***CO₂*:** Emisiones de Dióxido de Carbono [Ton/año]: Es la especificación de un costo que se asocia con el límite de emisiones de algo contaminante, su valor es diferente de cero. En HOMER se especifica un valor que corresponde al costo anual del sistema.

***O&M*:** Costo Operacional [\$/año]: Es la métrica que representa el valor o costo de las configuraciones, operación o mantenimientos que se han brindado al sistema.

2.12.3 Criterio de selección de un modelo de planificación

Para la planificación de un sistema de microgrid se deben cumplir objetivos de manera general los cuales se basan en la confiabilidad, calidad, seguridad y estabilidad de la energía eléctrica, considerando la parte técnica y económica. La planificación por medio del software HOMER busca para una correcta selección minimizar el costo presente neto (NPC) y las emisiones de (CO_2), todo esto va de la mano con las características de los equipos que son parte de la planificación.

Los tipos de planificación según “Electric Power System Planning” (Seifi & Sadegh Sepasian, 2011) pueden ser:

- Planificación estática y dinámica: La planificación estática se define como aquella que se presenta en una sola etapa de la planificación general, a diferencia de la dinámica la cual es la planificación de todas las etapas de manera simultánea, es decir sus resultados se dan por separado, pero en un mismo tiempo.
- Planificación de distribución y transmisión: La de distribución se planifica de manera radial y se va de manera separada de la de transmisión. Tanto la de distribución como la de transmisión pueden tener el mismo ideal, pero su planificación se da por separado.
- Planificación de corto o largo plazo: La planificación de corto plazo ocupan el rango de 1 a 3 años a diferencia de los de largo plazo que son mayores a los 3 años. Estos rangos dependen de a cuantos años se esté planificando un sistema eléctrico.

3. Diseño de la Planificación

3.1 Introducción

En el presente capítulo se analizan los datos meteorológicos de viento y radiación solar de la isla San Cristóbal. También se muestra el consumo eléctrico que presenta en la actualidad el sector residencial. Además, se especifican características técnicas de los componentes principales de la microgrid.

Finalmente, se realiza el bosquejo de tres posibles escenarios de prueba para el sistema con la información disponible.

3.2 Recopilación de Datos

3.2.1 Viento

Por medio de una aplicación de acceso a datos de la NASA, llamada "POWER Data Access Viewer" (NASA, 2017) se logra obtener información sobre el viento que se produce en San Cristóbal desde el 1 de Enero del 2015 hasta el 15 de Noviembre del 2018, con las coordenadas de $0^{\circ} 54' 9''$ S, $89^{\circ} 36' 33''$ W como se observa en la Figura 10. En esta sección se toma en cuenta la variación del viento tanto a 10 m de altura como a 50 m.

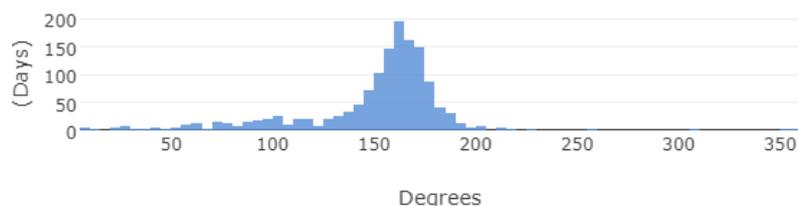


Figura 10. Ubicación de coordenadas en san Cristóbal
Tomado de (NASA, 2017)

La Figura 11 (a) se tiene como referencia que el Norte son 0° , Sur 180° , Este 90° y Oeste 270° . Se observa que los vientos son constantes entre 100° y 200° , es decir provienen del Sur-Oeste de la isla. En la Figura 12 (b) se puede apreciar que la mayor cantidad de días el viento sopla entre 150° y 200° .



(a)



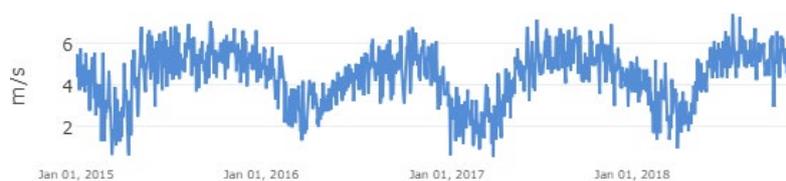
(b)

Figura 11. Dirección del viento a 10 m (convención meteorológica)

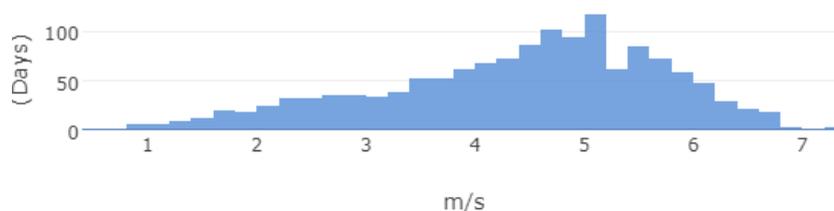
Tomado de (NASA, 2017)

La Figura 12 (a) es cíclica e indica que la velocidad del viento se relaciona con las épocas de verano e invierno que cuenta la isla, ya que a inicio de cada año el clima es caluroso, es decir no existe mucha presencia de viento.

Aproximadamente el 50% de los 1114 días, el viento se presenta entre 3,5 m/s y 6,1 m/s, como muestra la Figura 12 (b). Como dato importante se observa que a la velocidad de 5 – 5.19 m/s el viento sopla durante 122 días del rango ya mencionado.



(b)



(a)

Figura 12. Velocidad del viento a 10 m

Tomado de (NASA, 2017)

La Figura 13 (a) indica los 4 m/s que tiene de rango el viento a 10 m. En la Figura 13 (b) se presenta la relación que tiene el rango con los días de los tres años, donde durante 122 días se encuentra en 1.4 m/s.

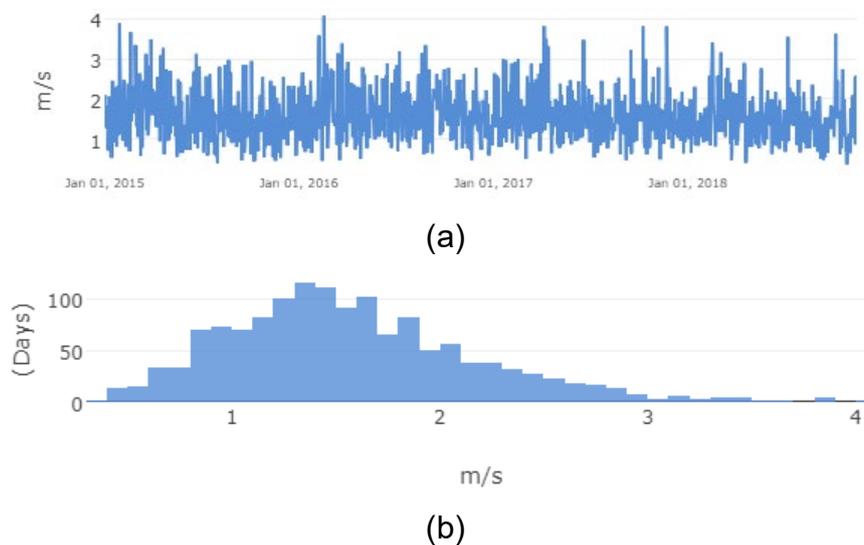


Figura 13. Rango de variación de la velocidad del viento a 10 m
Tomado de (NASA, 2017)

En las figuras que se presentan a continuación, son características que tiene el viento a 50 metros, durante tres años. La Figura 14 (a) muestra la dirección, el cual prevalece más tiempo entre 100° y 200° . Y la Figura 14 (b) la mayor cantidad de días el viento proviene del Sur-Este (165°), durante 168 días.

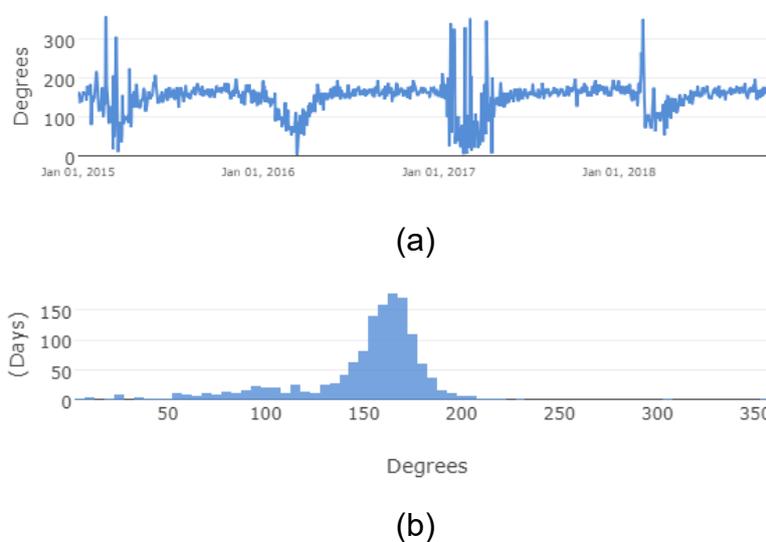


Figura 14. Dirección del viento a 50 m (convención meteorológica)
Tomado de (NASA, 2017)

A diferencia del viento a 10 metros, el viento está a 50 metros de altura sopla 5.2 -5.39 m/s durante 106 días, como se observa en la Figura 15 (a). En la Figura 15 (b) se puede encontrar que la velocidad de 5,5 m/s se presenta durante 101 días.

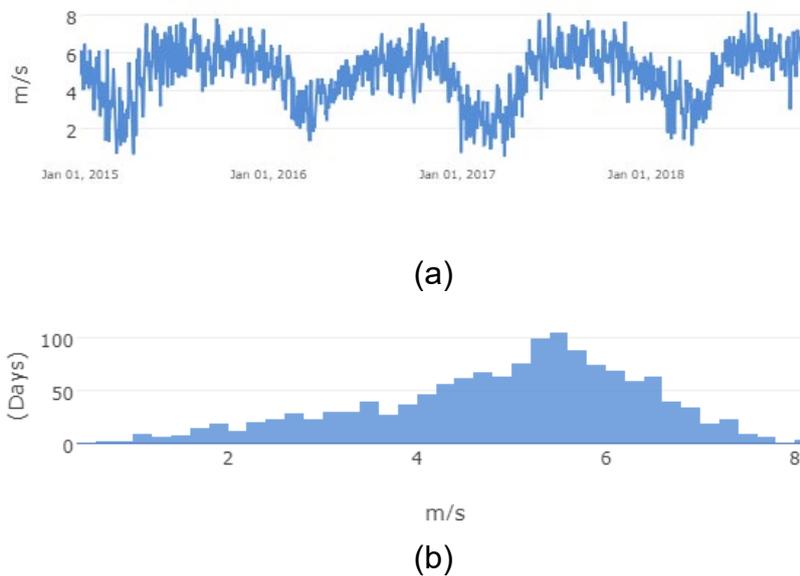


Figura 15. Velocidad del viento a 50 m
Tomado de (NASA, 2017)

El rango con el que cuenta la isla para una altura de 50 metros es de 4 m/s como se observa en la Figura 16 (a), según la Figura 16 (b) a 1.65 m/s el viento se presenta durante 93 días.

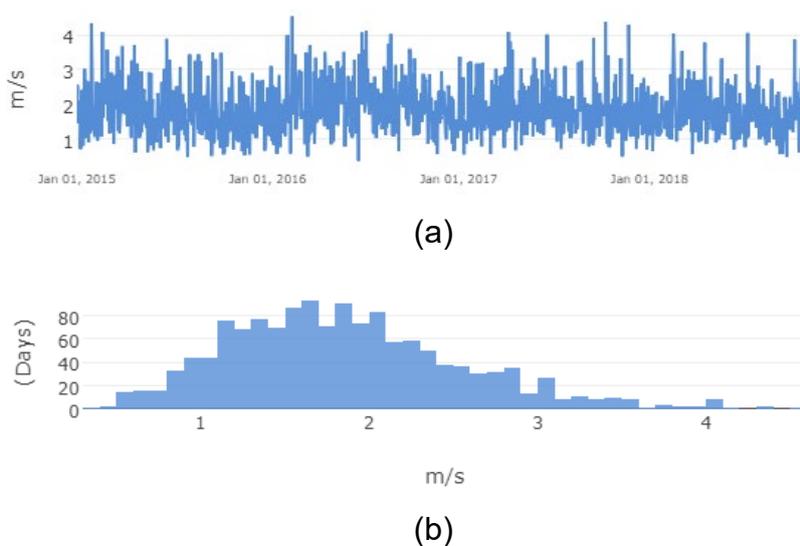


Figura 16. Rango de velocidad del viento a 50 m
Tomado de (NASA, 2017)

3.2.2 Radiación Solar

Para obtener datos de radiación solar, también se utiliza la aplicación de la NASA, en la que se muestra las siguientes figuras, con datos anuales.

La Figura 17, muestra la radiación que llega a la isla San Cristóbal durante un año, donde las fechas de mayor radiación son en los meses de Enero hasta Julio, es decir que el clima es caluroso. Y los tiempos de frío son pasando el mes de Julio hasta diciembre. Adicionalmente, por cada m^2 se obtiene de 5.5 hasta 7 kW/h al día.

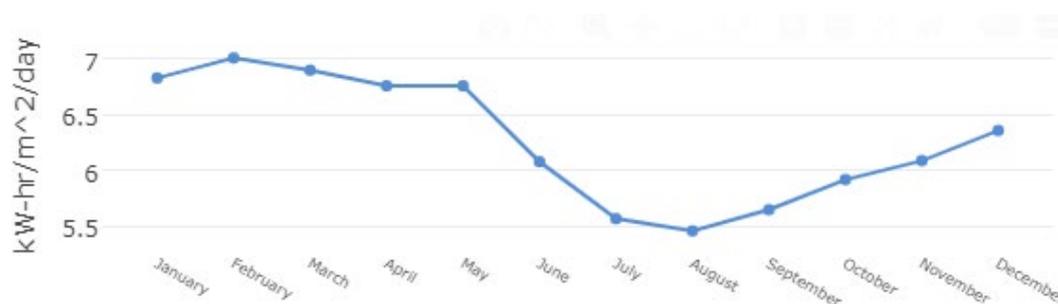


Figura 17. Radiación normal directa

Tomado de (NASA, 2017)

La máxima radiación se da en el mes de Febrero, con 8.56 kW por cada m^2 , y la mínima se presente en el mes de Agosto, como se observa en la Figura 18.

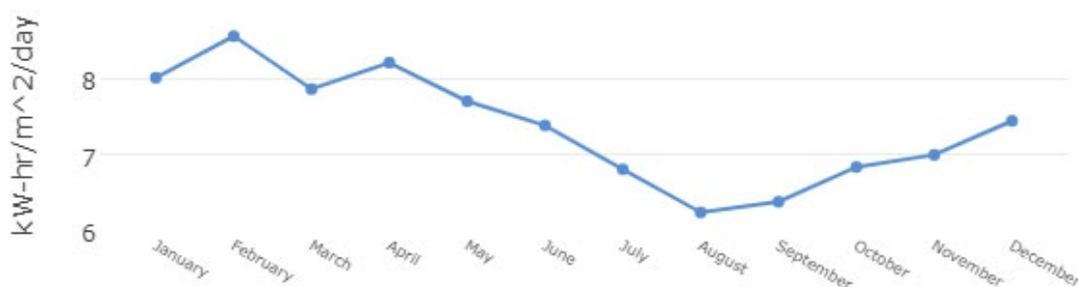


Figura 18. Máxima radiación normal directa

Tomado de (NASA, 2017)

3.2.3 Consumo Eléctrico

“ELECGALÁPAGOS” tiene como necesidad el reducir el consumo de combustibles fósiles, esto se debe a que las islas Galápagos por ser un

Patrimonio Natural de la Humanidad, se compone de entornos con grandes niveles de sensibilidad, tanto para la flora como la fauna endémica. Contando con el objetivo de generar, transmitir, distribuir y comercializar la electricidad basada en la protección ambiental.

La Figura 19 (a), evidencia la demanda en kWh durante el periodo de los años 2003 – 2024. También se aprecia en la figura Figura 19 (b) que el valor histórico del año 2015 es aproximadamente el doble de lo que se generó 8 años atrás. Y por último se observa en la Figura 19 (c) la demanda proyectada desde el 2016 al 2024, donde se aprecia que en el 2024 la demanda será cuatro veces mayor al del año 2015.

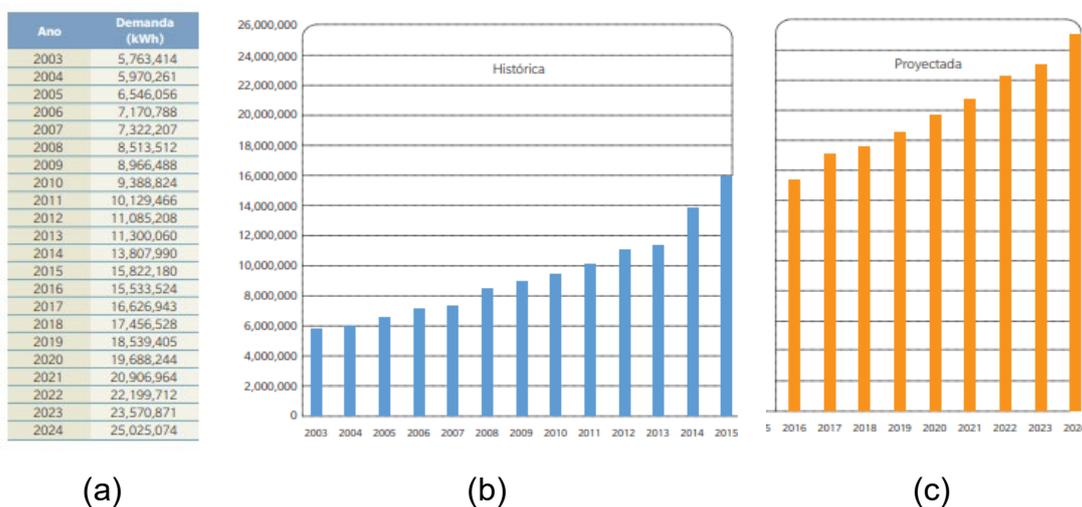


Figura 19. Demanda de Energía eléctrica en San Cristóbal (kWh).

Tomado de (GSEP, 2016b)

Según, datos actualizados de ELECGALÁPAGOS, el consumo de energía eléctrica se clasifica en grupos como se puede observar en la Figura 20. Lo cual para el desarrollo de la microgrid se tomará en cuenta los datos del grupo residencial, el cual tiene una variación de 4.42% desde el mes de mayo del 2017 hasta abril del 2018

INDICADORES DE GESTIÓN						
Nombre	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, POR GRUPO					Indicador N° 03
Definición breve	Cantidad de energía eléctrica facturada a los clientes regulados					
Unidad de medida	MWh					
Fórmula	Total de energía eléctrica facturada, por grupo de consumo, a Clientes Regula					
Periodicidad	Mensual					
Fuente de los Datos	Dirección Comercial (SICO)					
Observaciones						
MES / TARIFA	Residencial	Comercial	Industrial	A. Público	Otros	Total
may-17	1.811,97	1.649,75	36,16	167,74	999,88	4.665,50
jun-17	1.578,73	1.483,71	41,52	151,27	939,26	4.194,47
jul-17	1.420,95	1.334,40	41,97	148,04	849,36	3.794,72
ago-17	1.357,25	1.250,37	40,73	144,58	814,26	3.607,20
sep-17	1.343,47	1.158,44	37,66	150,74	766,74	3.457,04
oct-17	1.348,04	1.172,98	33,32	145,62	745,35	3.445,31
nov-17	1.418,91	1.312,13	35,76	154,59	733,86	3.655,25
dic-17	1.358,10	1.258,11	34,09	154,13	608,60	3.413,03
ene-18	1.626,53	1.609,17	36,23	145,92	786,70	4.204,56
feb-18	1.957,25	1.904,39	38,28	162,10	887,81	4.949,83
mar-18	1.803,80	1.816,28	36,86	155,36	950,12	4.762,41
abr-18	1.883,52	1.930,25	43,39	161,93	922,32	4.941,42
Variación %	4,42%	6,27%	17,74%	4,23%	-2,93%	3,76%

Figura 20. Indicador de consumo de energía eléctrica por grupos.

Tomado de (ELECGALAPAGOS, 2018)

3.2.4 Generación Eléctrica Actual

La energía que cuenta la isla San Cristóbal, es generada por tres turbinas eólicas o aerogeneradores, las cuales aprovechan al máximo el recurso de viento con un potencial de 2400kW. Esta energía, es transportada por una línea de transmisión subterránea de 13.2kV y una distancia inicial de 3 km de longitud, desde el cerro “El Tropezón” hasta la central de generación de energía a diésel de la empresa ELECGALAPGOS.S.A. A los 9 km cuenta con la conexión hacia un cable subterráneo quien termina en la central.

Ano	Diesel (kWh)	Eolico (kWh)	Total (kWh)	Diesel (%)	Viento (%)	TON CO ₂ Evit Adas	Guardado (Gallons)	Facturación (USD)
2007	975,858	790,398	1,766,256	55.3%	44.7%	632	68,730	101,329
2008	5,834,693	2,682,461	8,517,153	68.5%	31.5%	2,146	233,257	343,891
2009	5,882,731	3,204,436	9,087,167	64.7%	35.3%	2,564	278,647	410,809
2010	5,919,000	3,434,854	9,353,853	63.3%	36.7%	2,748	298,683	440,348
2011	6,745,046	3,344,625	10,089,672	66.9%	33.1%	2,676	290,837	428,781
2012	8,752,958	2,398,372	11,151,330	78.5%	21.5%	1,919	208,554	307,471
2013	7,984,046	3,451,451	11,435,497	69.8%	30.2%	2,761	300,126	442,476
2014	9,956,002	3,864,396	13,820,396	72.0%	28.0%	3,092	336,034	495,415
2015	12,425,816	3,396,364	15,822,180	78.5%	21.5%	2,717	295,336	435,414
Total	64,476,150	26,567,355	91,043,504	70.8%	29.2%	21,254	2,310,205	3,405,935

Figura 21. Generación de energía Eólica – Diésel Summary (2007 - 2015)

Tomado de (GSEP, 2016b)

Según la Figura 21, demuestra que la energía eólica que se produjo durante el periodo 2007 – 2015 fue del 29.2% como totalidad. Adicionalmente, según un estudio de factibilidad sobre la energía en Galápagos detallan que en la isla San Cristóbal se cuenta con una planta generadora la cual es a diésel y está conformada por 7 generadores, 3 Caterpillar 3512 DITA de 650 kW, 1 Caterpillar 3516 de 1100 kW, 2 SKL 9VDS 29/24 AL de 1670 kW y 1 MTU 16 v200 de 1000 kW (Emeline Platel, 2016), dando aproximadamente una generación de 7.3 MW.

3.3 Información de los Equipos

Los datos técnicos que se presentan en esta sección acerca de los equipos, son lo que se ingresarán al simulador HOMER ENERGY, para la creación de las posibles soluciones de microgrid, donde la Tabla 9 y Tabla 10 de generadores y aerogeneradores son los equipos con los que cuenta la isla en la actualidad.

Tabla 9.

Generadores

Tipo	Modelo	Cantidad	Capacidad (kW)	Consumo específico (L/hr/kW)
Caterpillar	3512 DITA	3	650	0.241
	3516	1	1100	0.229
SKL	9VDS 29/24 AL	2	1670	0.230
MTU	16V2000	1	1000	0.242
Capacidad Total (kW)			7390	

Adaptado de (GSEP, 2016a)

Tabla 10.

Aerogeneradores

Fabricante	Modelo	Cantidad	Capacidad (kW)	Altura (m)
GAMESA	AE-59	3	800	51.5
Capacidad Total (kW)			2400	

Adaptado de (GSEP, 2016b)

Tabla 11.

Paneles solares

Fabricante	Modelo	Capacidad (kW)
-	-	5.1
-	-	5.1
-	-	2.5
Generik	Flat Plate	Optimizador HOMER
Capacidad Total (kW)		12.7

Adaptado de (GSEP, 2016b)

Tabla 12.

Batería

Modelo	Voltaje (v)	Capacidad nominal (kWh)	Capacidad máxima (Ah)
Kinetic	12	1	83.4

3.4 Escenarios

Para la creación de los escenarios se utilizó el software llamado “Homer Energy” el cual es una herramienta que sirve para la planificación de generación y almacenamiento de energía. El mismo que para el presente proyecto se ejecutó en un software de prueba, que tiene durabilidad de 21 días gratuitos.

HOMER Energy brinda recursos los cuales son basados en la NASA o a su vez pueden ser importados. Los recursos a utilizarse son los de irradiación global horizontal en sus siglas en inglés “Solar GHI” como se muestra en la Figura 22, donde el promedio anual de irradiación en la isla San Cristóbal es de 6.10 kWh/m²/d. También se cuenta con la información del viento, pero para la creación de los escenarios se utilizó los datos que ofrece (Clairand, Rodríguez-García, & Alvarez, 2018), el cual sirve como complemento a los datos de la NASA ya que se originan del simulador VAISALA Energy, el cual está basado en

cálculos de simulador de viento fiable. El viento promedio anual a ejecutarse en cada escenario es de 4,3 m/s como se observa en la Figura 23.

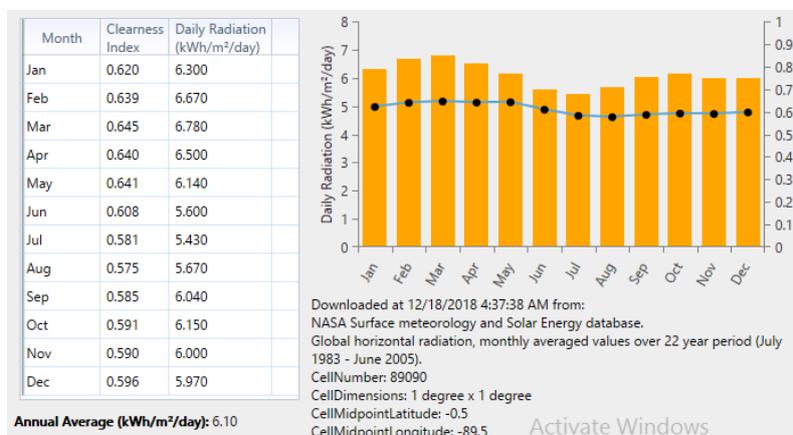


Figura 22. Promedio anual de irradiación solar

Tomado de (Homer Energy, 2019)

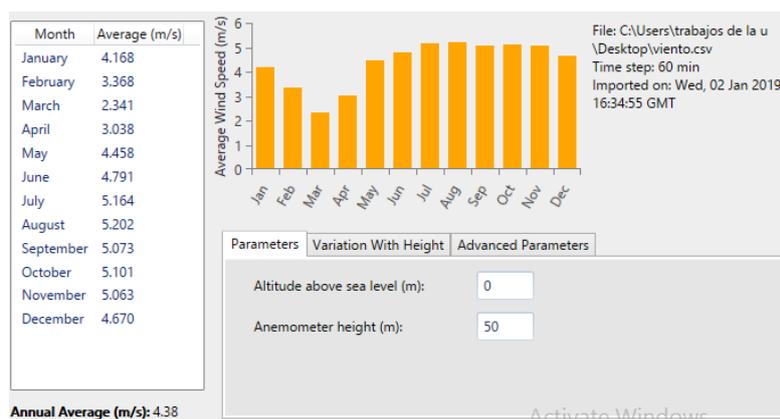


Figura 23. Promedio anual del viento

Tomado de (Homer Energy, 2019)

Posteriormente para obtener la carga eléctrica a la que se debe enfrentar la simulación se realizó una aproximación de acuerdo a la información que tiene la Figura 20, respecto al sector residencial, donde el dato de consumo debe ser en kWh/d, el cual es de 51797.76 kWh/d y los datos brindados por “Power Generation Planning of Galápagos” de (Clairand, Arriaga, et al., 2018) donde muestra el consumo total del área residencial de la Isla Santa Cruz, información que esta detallada por horas, para un mejor entendimiento se muestra posteriormente la Tabla 13.

Finalmente se debe tomar en cuenta que cada uno de los escenarios posibles de analizarse deben contar con fuentes renovables, baterías y convertidores, los que pueden ser elegidos por defecto desde el software o se pueden seleccionar desde la base de Homer.

A continuación, se podrá visualizar los escenarios posibles, donde todos están conformados por los 7 generadores de la planta de diésel, 3 aerogeneradores de 800 kWh cada uno, paneles solares y baterías, teniendo en cuenta un valor como el precio de energía que según (Clairand, Arriaga, et al., 2018) es de \$ 0,038. El periodo de estudio que se aplicará es de 20 años, contando con un factor de recuperación del capital total, el cual analiza a que porcentaje y en cuantos años se desea reembolsar el dinero.

Tabla 13.

Cálculo de consumo promedio del sector residencial en kWh/d

TOTAL RESIDENCIAL			
AÑO	MES	MWh	
2017-2018	Mayo	1811.97	
	Junio	1578.73	
	Julio	1420.95	
	Agosto	1356.25	
	Septiembre	1343.47	
	Octubre	1348.04	
	Noviembre	1418.91	
	Diciembre	1358.1	
	Enero	1626.53	
	Febrero	1957.25	
	Marzo	1803.8	
	Abril	1883.52	
	SUMA	18907.52	MWh/annual
	PROMEDIO (M)	1575.63	MWh/mensual
	PROMEDIO (D)	51.8014247	MWh/día
	PROMEDIO	51801.42	kWh/día

Adaptado de (ELECGALAPAGOS, 2018)

El valor promedio 51801.42 kWh/día que se obtiene en la tabla 10, será utilizado como divisor de 88574.18 kWh/día, dato que está generado con mayor precisión de la isla santa cruz, y da como resultado 1.71 kWh/día, donde ese valor se aplicará una regla de 3, para obtener el valor más real posible del consumo de energía eléctrica en el sector residencial de la isla San Cristóbal.

Weekdays	Weekends											
Hour	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	1,669.98	1,845.69	1,936.53	2,005.07	1,844.07	1,951.44	1,800.89	1,679.49	1,521.86	1,711.67	1,826.69	1,775.15
1	1,630.75	1,786.98	1,832.68	1,922.51	1,781.44	1,862.36	1,703.17	1,650.39	1,421.65	1,636.56	1,787.54	1,693.81
2	1,561.63	1,721.97	1,803.28	1,858.31	1,728.85	1,820.86	1,635.95	1,563.84	1,493.04	1,686.78	1,776.51	1,597.31
3	1,538.4	1,675.33	1,756.6	1,785.94	1,691.48	1,790.03	1,636.56	1,560.7	1,460.26	1,601.72	1,778.72	1,604.73
4	1,487.9	1,678.35	1,714.99	1,761	1,671.57	1,780.07	1,655.2	1,569.84	1,430.3	1,612.96	1,775.42	1,542.37
5	1,574.43	1,690.35	1,724.19	1,766.34	1,709.87	1,810.29	1,777.7	1,650.96	1,487.26	1,722.18	1,789.4	1,527.2
6	1,660.79	1,772.71	1,759.73	1,850.84	1,776.3	1,898.53	1,850.41	1,794.85	1,616.11	1,939.45	1,924.12	1,657.39
7	1,808.35	2,025.24	2,064.51	2,094.59	1,974.32	2,097.38	2,058.17	1,851.64	1,768.13	2,036.09	2,056.15	1,838.77
8	1,976.97	2,238.2	2,393.1	2,303.08	2,170.33	2,305.47	2,224.23	1,892.55	1,908.95	2,065.83	2,095.73	2,000.67
9	2,091.54	2,382.75	2,487.85	2,445.86	2,353.44	2,397.49	2,265.51	2,024.74	1,895.28	2,068.25	2,232.68	2,067.01
10	2,170.22	2,493.21	2,668.09	2,513.96	2,432.25	2,426.1	2,454.04	2,110.87	2,003.62	2,149.06	2,325.57	2,231.83
11	2,260.75	2,596.78	2,772.11	2,687.21	2,457.39	2,614.43	2,560.87	2,165.18	1,925.15	2,188.87	2,351.88	2,287.8
12	2,239.81	2,538.34	2,680.33	2,572.87	2,387.92	2,592.81	2,506.43	2,078.64	1,905.72	2,051.7	2,249.42	2,265.78
13	2,213.39	2,563.85	2,651.21	2,584.36	2,434.03	2,557.45	2,455.46	2,047.16	1,924.41	2,002.18	2,203.84	2,252.74
14	2,345.96	2,658.65	2,727.8	2,603.86	2,449.9	2,554.97	2,492.35	2,059.68	1,856.9	1,911.5	2,188.55	2,349.04
15	2,370.4	2,704.79	2,810.16	2,671.19	2,536.06	2,632.68	2,497.81	2,084	1,832.74	1,826.36	2,185.96	2,381.06
16	2,357.75	2,618.45	2,746.65	2,615.49	2,469.72	2,546.86	2,473.84	2,099.37	1,782.38	1,773.81	2,153.45	2,365.96
17	2,286.38	2,534.78	2,685.41	2,584.91	2,505.09	2,511.42	2,410.3	2,038.07	1,810.4	1,835.77	2,217.94	2,386
18	2,636.28	2,926.83	3,000.41	2,923.33	2,780.85	2,773.62	2,714.19	2,375.34	2,175.97	2,234.22	2,560.7	2,730.17
19	2,539.44	2,805.45	2,870.97	2,791.69	2,657.23	2,708.11	2,629.01	2,311.23	2,149.67	2,214.75	2,462.87	2,684.98
20	2,438.98	2,723.03	2,765.1	2,716.03	2,587.51	2,605.43	2,503.27	2,220.5	2,071.99	2,155.57	2,375.29	2,542.7
21	2,335.19	2,560.09	2,676.79	2,656.08	2,432.57	2,552.59	2,457.04	2,147.44	2,032.38	2,124.86	2,292.01	2,365.86
22	2,099.42	2,278.6	2,418.25	2,401.23	2,241.87	2,310.68	2,248.88	1,916.58	1,861.47	2,014.15	2,186.01	2,137.77
23	1,881.43	2,070.8	2,200.3	2,184.61	2,005.59	2,112.84	2,000.51	1,825.93	1,681.85	1,908.78	2,025.89	1,942.88

Figura 24. Consumo eléctrico de San Cristóbal.

Tomado de (Homer Energy, 2019)

La Figura 24 muestra los valores a escala mensual durante las 24 horas del día, con la finalidad de obtener los 51797.76 kWh/día, el cual es el valor que será ingresado en el software de HOMER como el consumo total que debe abastecer la microgrid.

3.4.1 Escenario completo

La Figura 25 es el escenario conformado por generación de energía limpia como es la eólica, solar y energía con combustible fósil. Se tiene en corriente alterna los 7 generadores, con los que cuenta la planta en la actualidad, las turbinas AE-59 de 800 kW, los paneles son colocados con el optimizador de HOMER debido a que los que se encuentran en la actualidad son un valor insignificante para la

planificación. También se cuenta con convertidores y un banco de baterías de 1kWh, con la finalidad de almacenar energía de las fuentes renovables.

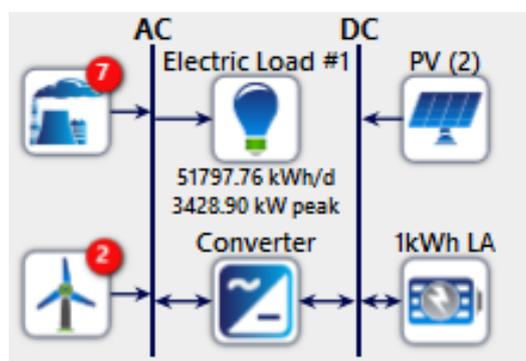


Figura 25. Planificación de microgrid de 51797.76 kWh/d
Tomado de (Homer Energy, 2019)

Los modelos escogidos de equipos se detallan en la sección 3.3 de la página 34. Los valores de costo de capital, costo de reemplazo y mantenimiento de los equipos se tomaron de la Figura 26. Es importante tomar en cuenta que los equipos ya existentes en la isla no cuentan con un capital inicial, es decir se pone un valor de 0.00\$.

Options	Capital Cost	Replacement Cost	O&M Cost
Diesel	882 \$/kW	882 \$/kW	26.3 \$/kW/yr
PV	5,648 \$/kW	5,648 \$/kW	38.6 \$/kW/yr
Battery	1,481 \$/kWh	1,481 \$/kWh	9 \$/kWh/yr
Wind	9,833 \$/kW	9,833 \$/kW	81.76 \$/kW/yr

Figura 26. Tabla de costos.

Tomado de (Clairand, Arriaga, et al., 2018)

4. Pruebas y Resultados

4.1 Introducción

Se analiza los posibles escenarios para obtener la mejor planificación de una microgrid que brinde electricidad al sector residencial, donde se considerará como fuente la energía la planta de generadores, la fotovoltaica, eólica o la posible combinación de eólica- fotovoltaica o generadores-eólica-fotovoltaica.

4.2 Pruebas

4.2.1 Escenario 1.67 \$/hr

En el primer escenario se basa en el precio actual que tiene el combustible en el Ecuador continental, el cual es de 1.17\$ más 0.50 ctvs que es el costo de transporte hacia las islas Galápagos, da como resultado 1.67\$ (GlobalPetrolPrices.com, s.f.).

CONSUMO TOTAL

En la Figura 27 se logra observar el capital total que se necesita para la creación de la microgrid es de \$71,554,143.23. Donde se encuentra conformado por el capital de cada equipo, el costo de reemplazo, la operación y mantenimiento del sistema.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
CAT-3516	\$0.00	\$0.00	\$205,490.07	\$29,244,923.48	\$0.00	\$29,450,413.55
Generic 1kWh Lead Acid	\$5,775,900.00	\$2,266,945.90	\$302,869.40	\$0.00	\$0.00	\$8,345,715.30
Generic flat plate PV (2)	\$12,189,796.00	\$0.00	\$719,593.35	\$0.00	(\$375,551.43)	\$12,533,837.93
MTU 16V2000 1000kW	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$15,460,973.86	\$0.00	\$15,460,973.86
SKL 9VDS 29/24 AL	\$0.00	\$0.00	\$135,795.78	\$2,463,596.13	(\$203,533.27)	\$2,395,858.63
SKL 9VDS 29/24 AL (1)	\$0.00	\$0.00	\$126,757.15	\$0.00	(\$220,426.70)	(\$93,669.54)
System	\$17,965,696.00	\$2,266,945.90	\$1,526,065.20	\$50,594,947.52	(\$799,511.40)	\$71,554,143.23

Figura 27. Costo total del sistema

Tomado de (Homer Energy, 2019)

El costo de reemplazo o en sus siglas COE, es el costo nivelado de la energía que produce el sistema, se presenta con un valor de \$0.4385 y los costos de O&M son de \$ 6,208,958.00. Como se aprecia en la Figura 28.

Fuel Price (1.67 \$/L)	Total NPC:	\$71,541,300.00
	Levelized COE:	\$0.4385
	Operating Cost:	\$6,208,958.00

Figura 28. Cuadro resumen de costo

Tomado de (Homer Energy, 2019)

FLUJO DE FONDOS

En la Figura 29 se analiza gráficamente mediante barras de colores el capital que se necesitará para el sistema, de manera separada. Obteniendo como capital inicial \$ 17,965,696.00, según muestra la barra color verde.

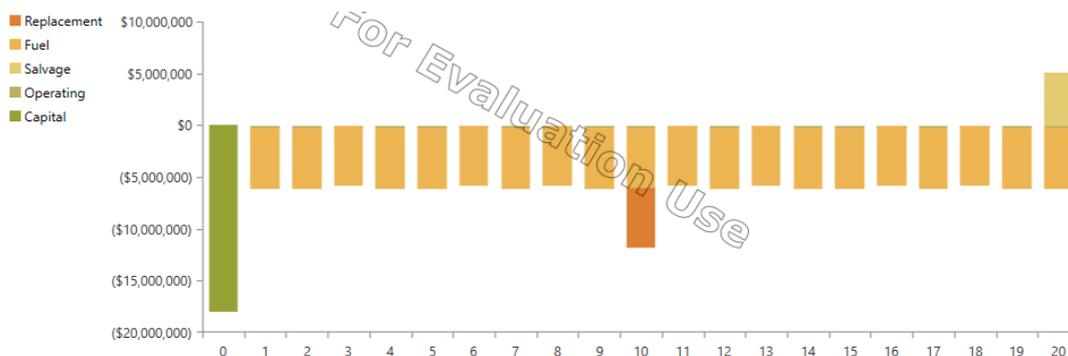


Figura 29. Flujo de fondos eólica-solar
Tomado de (Homer Energy, 2019)

COMPARACIÓN ECONÓMICA

La comparación en términos económicos se realiza entre el resultado más óptimo que muestra el software y el que se seleccione de todas las opciones desplegadas. En la Figura 30 se escogió el escenario que contenga los equipos mencionados inicialmente, de acuerdo al que corresponde en esta sección el diseño debe contener: paneles solares, aerogeneradores, baterías, y convertidores. Lo cual no todos los escenarios que muestra Homer cumple con las indicaciones requeridas. Por esta razón el que se selecciona el escenario que el sistema arroja como es el más óptimo.

	Architecture							Cost			
							PV (2) (kW)	AE-59	AE-59 (1)	NPC (\$)	Initial capital (\$)
Base system							3	3		\$72.4M	\$5.78M
Current system							2,158	3		\$71.5M	\$18.0M

Figura 30. Comparación económica de escenarios
Tomado de (Homer Energy, 2019)

ELÉCTRICO

En la pestaña de eléctrico se logra observar en que rangos esta la producción de cada fuente que genera energía. Como se aprecia la imagen separa por colores cada equipo, mostrando un total de 26.7% de energía limpia como se observa en la Figura 31. El que mayor porcentaje que se produce en el presente escenario proviene de dos generadores, el CAT-3516 de 110 kW con un total de 43.4% y el MTU 16V2000 de 1000kW con 21.8%.

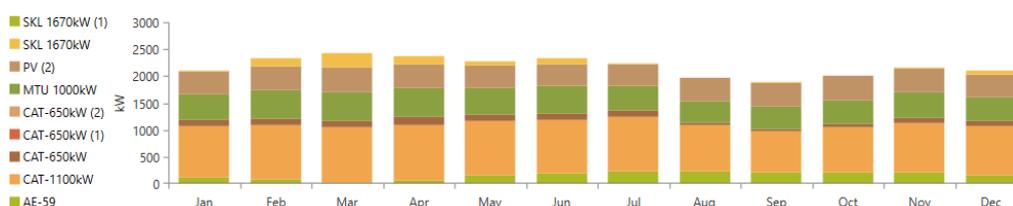


Figura 31. Cuadro de análisis de producción de energía

Tomado de (Homer Energy, 2019)

RESUMEN DE COMBUSTIBLE

La mayor parte del tiempo el combustible tiende a estar ente los 200L a 500L. En horarios desde las 18h00 a 21h00 en el primer trimestre del año el combustible se encuentra entre 600L a 800L como se aprecia en la Figura 32.

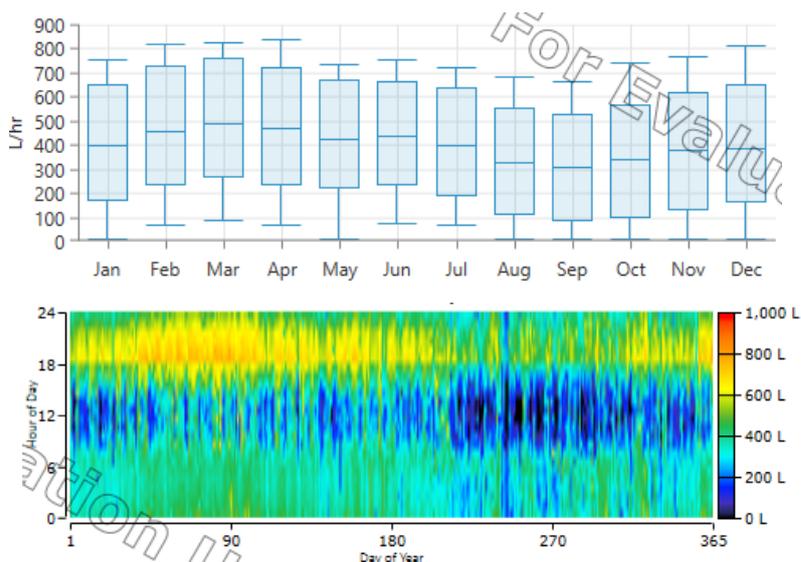


Figura 32. Estado de combustible

Tomado de (Homer Energy, 2019)

BATERÍAS

El estado de carga de las baterías durante las 24 horas del día, muestra que un 70% del año la batería tiende a encontrarse en el 100% como se observa en la Figura 33 esto se debe a en el transcurso de esas horas se está generando energía desde la planta. Quiere decir que las baterías no se descargan debido a que en este escenario son los generadores que están trabajando a un mayor porcentaje.

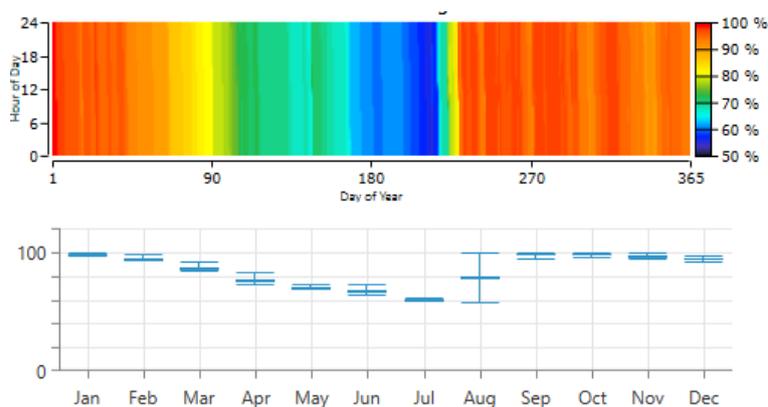


Figura 33. Estado de carga de batería

Tomado de (Homer Energy, 2019)

PANEL SOLAR

La salida de potencia fotovoltaica de 2158 kW se presenta en las horas del mediodía 12h00, esto se debe a que son las horas donde existe la presencia del sol, se puede observar en la Figura 34 que entre los primeros 90 días existe mayor radiación, al igual que desde los 270 a 365 días del año, ya que son los días de calor en la isla.

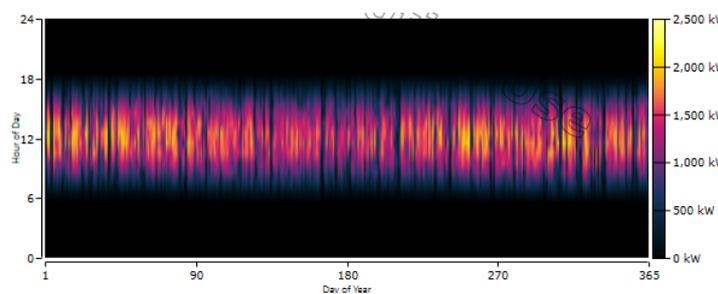


Figura 34. Salida de potencia fotovoltaica

Tomado de (Homer Energy, 2019)

TURBINA EÓLICA

La potencia de la turbina eólica tiene mayor valor entre los meses de junio a diciembre como muestra la Figura 35, esto se coincide con el clima que presenta la isla la cual es más frío.

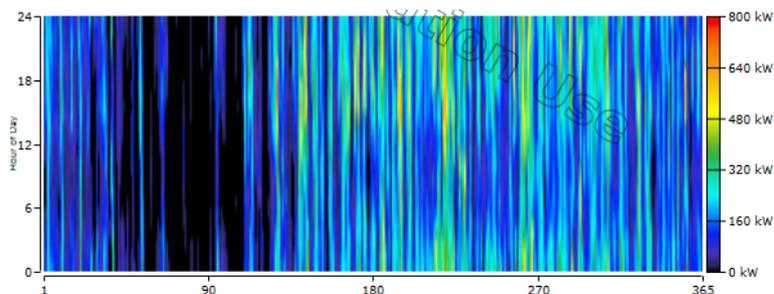


Figura 35. Potencia de aerogenerador

Tomado de (Homer Energy, 2019)

GENERADOR

Como se aprecia en la Figura 36 el generador se encuentra con mayor potencia en horarios de 17h00 a 22h00 que tiende a llegar a los 700 kW. Este modelo al igual que el modelo SKL 9VDS 29/24 no los consideran con gran porcentaje. Debido a que se consideran menos eficientes en comparación a los demás generadores propuestos.

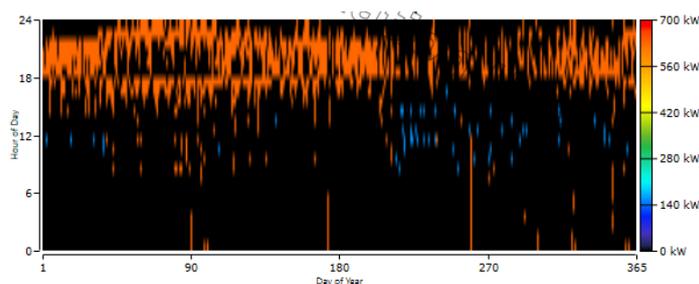


Figura 36. Generador 3512 DITA

Tomado de (Homer Energy, 2019)

CONVERTIDOR DE SISTEMA

La salida que presenta el inversor es de mayor tiempo en comparación a la del rectificador, es desde las 6am a 18 pm como muestra la Figura 37, debido a que

está obteniendo energía del panel solar que proviene de corriente continua a corriente alterna.

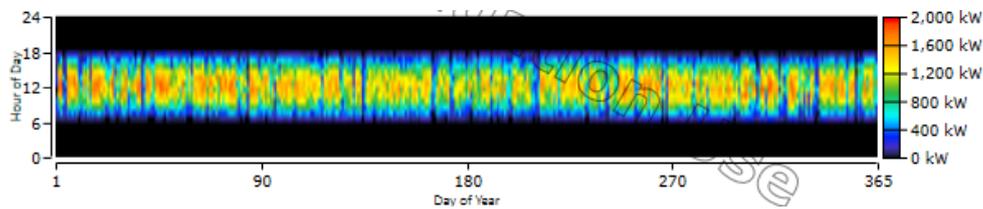


Figura 37. Salida de inversor

Tomado de (Homer Energy, 2019)

La salida del rectificador es de corriente alterna a continua, en el cual se proceden a cargar las baterías, y como se aprecia en la Figura 38, no cuenta con algún valor, porque no se están cargando las baterías desde una corriente alterna, influyendo el costo elevado de las baterías.

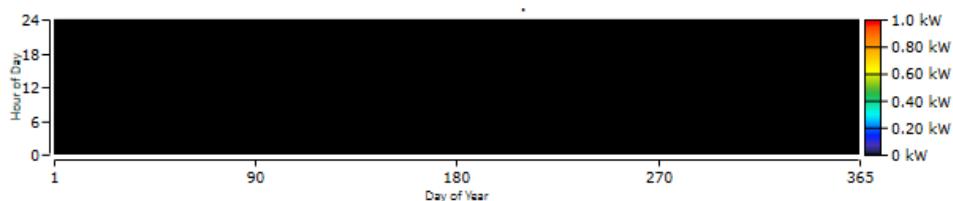


Figura 38. Salida de rectificador

Tomado de (Homer Energy, 2019)

EMISION

El total de dióxido de carbono que se presenta en el Sistema es de 9,284,409 kg/año como se aprecia en la Figura 39.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	9,284,409	kg/yr
Carbon Monoxide	3,134	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	171	kg/yr
Particulate Matter	231	kg/yr
Sulfur Dioxide	22,997	kg/yr
Nitrogen Oxides	47,035	kg/yr

Figura 39. Emisión del Sistema

Tomado de (Homer Energy, 2019)

4.2.2 Escenario 2.26 \$/hr

El segundo escenario se basa en la suma del 50% al precio actual del combustible y el precio del transporte, dando como resultado los 2.26\$.

CONSUMO TOTAL

En la Figura 40 se logra observar el capital total que se necesita para la creación de la microgrid es de \$88,054,739.84. Donde se encuentra conformado por el capital de cada equipo, el costo de reemplazo, la operación y mantenimiento del sistema.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
CAI-3512 DITA	\$0.00	\$0.00	\$21,287.84	\$2,574,084.55	\$0.00	\$2,595,372.38
CAT-3512 DITA (1)	\$0.00	\$0.00	\$53.15	\$7,100.31	\$0.00	\$7,153.46
CAT-3516	\$0.00	\$0.00	\$182,554.49	\$35,104,231.83	\$0.00	\$35,286,786.31
Generic 1kWh Lead Acid	\$5,775,900.00	\$2,266,945.90	\$302,869.40	\$0.00	\$0.00	\$8,345,715.30
Generic flat plate PV (2)	\$17,903,762.88	\$0.00	\$1,056,902.74	\$0.00	(\$551,591.16)	\$18,409,074.46
MTU 16V2000 1000kW	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$17,284,771.41	\$0.00	\$17,284,771.41
SKL 9VDS 29/24 AL	\$0.00	\$0.00	\$144,424.53	\$6,258,105.69	(\$182,994.16)	\$6,219,536.06
SKL 9VDS 29/24 AL (1)	\$0.00	\$0.00	\$126,757.15	\$0.00	(\$220,426.70)	(\$93,669.54)
System	\$23,679,662.88	\$2,266,945.90	\$1,834,849.30	\$61,228,293.78	(\$955,012.01)	\$88,054,739.84

Figura 40. Costo total del Sistema

Tomado de (Homer Energy, 2019)

El costo de reemplazo o en sus siglas COE, es el costo nivelado de la energía que produce el sistema, se presenta con un valor de \$0.05397 y los costos de O&M son de \$ 7,459,038.00. Como se aprecia en la Figura 41.

Fuel Price (2.26 \$/L)	Total NPC:	\$88,041,900.00
	Levelized COE:	\$0.5397
	Operating Cost:	\$7,459,038.00

Figura 41. Cuadro resumen de costos

Tomado de (Homer Energy, 2019)

COMPARACIÓN ECONÓMICA

En la Figura 42 se escogió el escenario que HOMER considera como el más óptimo. Contando con generadores, paneles, aerogeneradores y baterías, con la finalidad de establecer una planificación eficiente y confiable.

	Architecture										Cost				
	⚠	🔌	✈	✈	🏠	🏠	🏠	🏠	🏠	🏠	PV (2) (kW)	AE-59	AE-59 (1)	NPC (\$)	Initial capital (\$)
Base system			✈		🏠	🏠	🏠	🏠	🏠	🏠	3,170	3		\$94.9M	\$5.78M
Current system	⚠	🔌	✈		🏠	🏠	🏠	🏠	🏠	🏠	3,170	3		\$88.0M	\$23.7M

Figura 42. Comparación económica entre escenarios

Tomado de (Homer Energy, 2019)

FLUJO DE FONDOS

En la Figura 43 se analiza gráficamente el capital que se necesitará para el sistema, de manera independiente. Obteniendo como capital inicial \$23,679,662.88, según muestra la barra color verde.

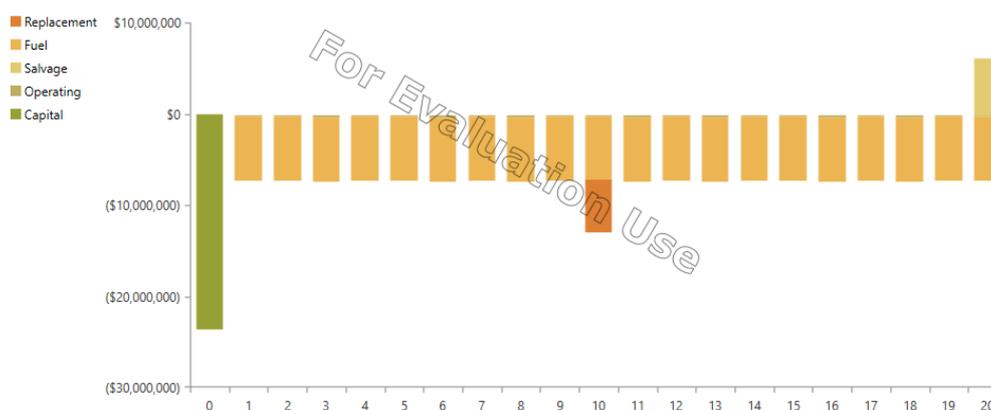


Figura 43. Flujo de fondos

Tomado de (Homer Energy, 2019)

ELÉCTRICO

En la pestaña de eléctrico se observa por colores los rangos de cada equipo durante todo el año donde el 33.8% corresponde a la energía renovable como se observa en la Figura 44.

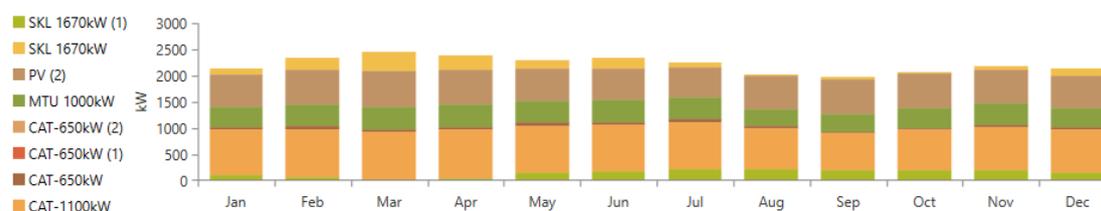


Figura 44. Análisis eléctrico de microgrid

Tomado de (Homer Energy, 2019)

RESUMEN DE COMBUSTIBLE

En los rangos de 6h00 a 18h00 el combustible tiende a estar ente los 0L a 300L como se aprecia en la Figura 32.

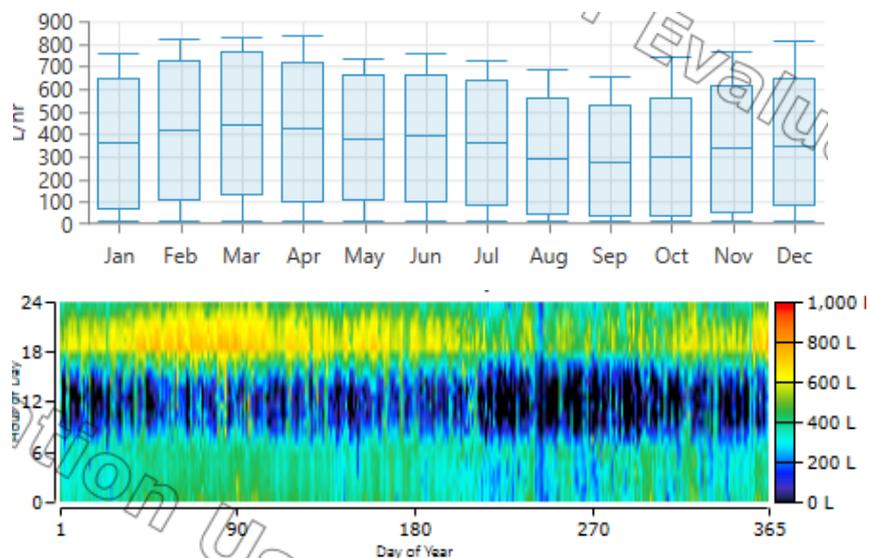


Figura 45. Resumen de combustible del sistema 2,26\$.

Tomado de (Homer Energy, 2019)

BATERÍAS

El estado de carga muestra que un 80% del año las baterías tiende a encontrarse en el 100% como se observa en la Figura 46, como también se puede ver que el rango de porcentaje no baja de 86%.

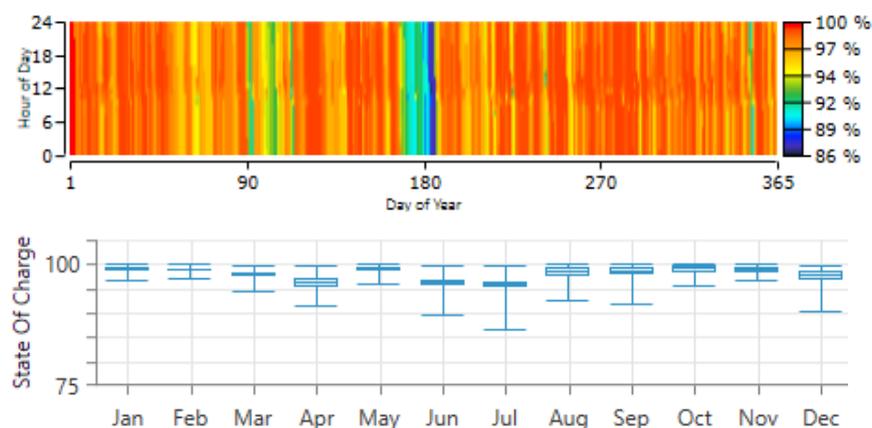


Figura 46. Estado de carga de baterías

Tomado de (Homer Energy, 2019)

TURBINA EÓLICA

La potencia de la turbina eólica tiene mayor valor entre los meses de junio a diciembre como muestra la Figura 47, esto se coincide con el clima que presenta la isla la cual es más frío.

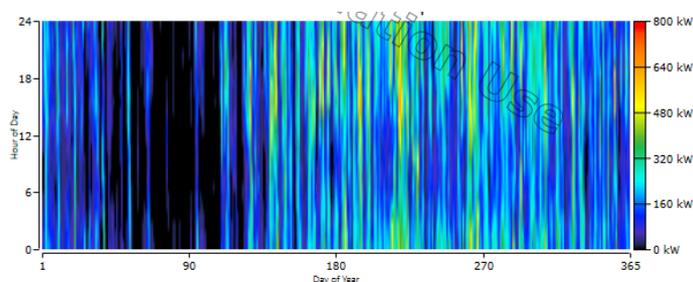


Figura 47. Potencia de aerogenerador
Tomado de (Homer Energy, 2019)

PANEL SOLAR

La salida de potencia fotovoltaica de 3170 kW se presenta en las horas del mediodía 12h00, esto se debe a que es donde más existe la presencia del sol, se puede observar en la Figura 34 que entre los primeros 90 días existe mayor radiación, al igual que desde los 270 a 365 días del año, ya que son los días de calor en la isla.

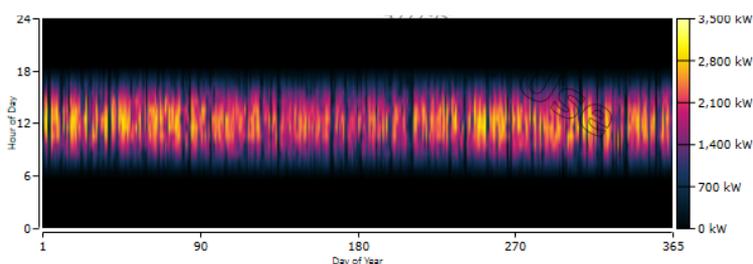


Figura 48. Potencia de aerogenerador
Tomado de (Homer Energy, 2019)

GENERADOR

De acuerdo a la Figura 49 se puede analizar que durante todo el año el generador funciona pero muy poco por el modelo que no es muy eficiente.

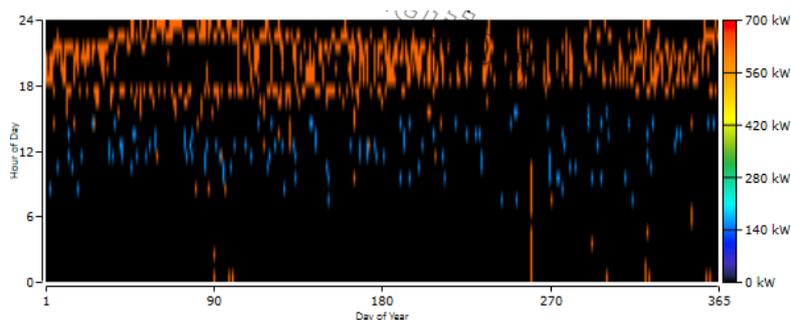


Figura 49. Energía del generador
Tomado de (Homer Energy, 2019)

CONVERTIDOR DE SISTEMA

La salida del inversor no se presenta durante mucho tiempo, esto se debe a que desde corriente continua a corriente alterna solo se está usando la batería, para la generación de energía como se aprecia en la Figura 50. En comparación a la del rectificador que se presenta vacío debido a que, por su alto costo, Homer no usa rectificador.

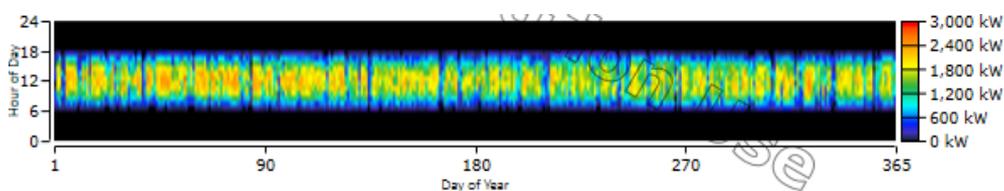


Figura 50. Salida de inversor
Tomado de (Homer Energy, 2019)



Figura 51. Salida del rectificador
Tomado de (Homer Energy, 2019)

EMISIONES

Las emisiones con las que cuenta el sistema se aprecian en la Figura 52, donde se encuentra el dióxido de carbono con 8,302,071 kg/año.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	8,302,071	kg/yr
Carbon Monoxide	2,865	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	246	kg/yr
Particulate Matter	247	kg/yr
Sulfur Dioxide	20,576	kg/yr
Nitrogen Oxides	43,515	kg/yr

Figura 52. Emisiones del sistema de 2,26\$

Tomado de (Homer Energy, 2019)

4.2.3 Escenario 2.84 \$/hr

El último escenario se basa en el 100% del precio actual del combustible más la suma del transporte hacia la isla, dando como resultado 2.84\$.

CONSUMO TOTAL

En la Figura 53 se logra observar el capital total que se necesita para la creación de la microgrid es de \$103,130,641.07. Donde se encuentra conformado por el capital de cada equipo, el costo de reemplazo, la operación y mantenimiento del sistema.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
CAT-3516	\$0.00	\$0.00	\$160,549.08	\$38,700,174.91	\$0.00	\$38,860,723.99
Generic 1kWh Lead Acid	\$5,775,900.00	\$2,266,945.90	\$302,869.40	\$0.00	\$0.00	\$8,345,715.30
Generic flat plate PV (2)	\$21,027,398.10	\$0.00	\$1,241,298.53	\$0.00	(\$647,826.21)	\$21,620,870.42
MTU 16V2000 1000kW	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$20,365,579.44	\$0.00	\$20,365,579.44
SKL 9VDS 29/24 AL	\$0.00	\$0.00	\$156,893.09	\$13,738,591.72	(\$153,315.14)	\$13,742,169.67
SKL 9VDS 29/24 AL (1)	\$0.00	\$0.00	\$126,757.15	\$0.00	(\$220,426.70)	(\$93,669.54)
Svstem	\$26.803.298.10	\$2.266.945.90	\$1.992.274.01	\$73.089.691.10	(\$1.021.568.05)	\$103.130.641.07

Figura 53. Costo total del Sistema

Tomado de (Homer Energy, 2019)

El costo de reemplazo o en sus siglas COE, es el costo nivelado de la energía que produce el sistema, se presenta con un valor de \$0.06321 y los costos de O&M son de \$ 8,844,204.00. Como se aprecia en la Figura 54.

Fuel Price (2.84 \$/L)	Total NPC:	\$103,117,800.00
	Levelized COE:	\$0.6321
	Operating Cost:	\$8,844,204.00

Figura 54. Cuadro resumen de costos

Tomado de (Homer Energy, 2019)

ELÉCTRICO

En la pestaña de eléctrico se observa por colores categorizados los equipos que componen la microgrid, donde el 39.2% corresponde a la energía renovable como se observa en la Figura 55.

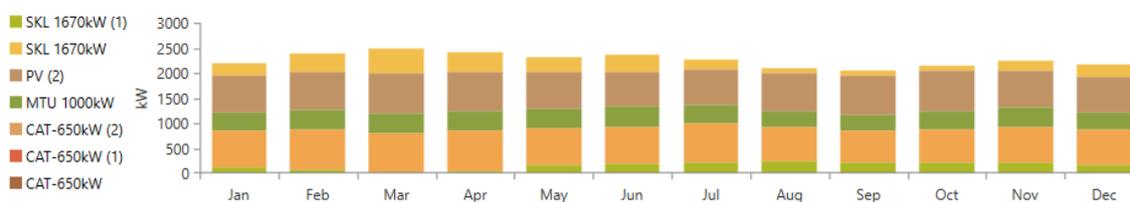


Figura 55. Análisis de producción de energía

Tomado de (Homer Energy, 2019)

FLUJO DE FONDOS

En la Figura 56 se analiza gráficamente el capital que se necesitará para el sistema, de manera independiente. Obteniendo como capital inicial \$26,803,298.10, según muestra la barra color verde.



Figura 56. Flujo de fondos Grid – Eólica

Tomado de (Homer Energy, 2019)

COMPARACIÓN ECONÓMICA

En la Figura 57 se escogió el escenario que contiene los equipos mencionados inicialmente, de acuerdo al escenario corresponde contener: paneles solares, aerogeneradores, baterías, y convertidores. Lo cual no todos los escenarios que brinda Homer cumplen con las indicaciones requeridas. Por esta razón el que se selecciona es el sistema que contiene todas las condiciones requeridas.

	Architecture										Cost				
	☠	🔌	✈	✈	🔌	🔌	🔌	🔌	🔌	🔌	PV (2) (kW)	AE-59	AE-59 (1)	NPC (\$)	Initial capital (\$)
Base system			✈		🔌	🔌	🔌	🔌	🔌	🔌	3			\$117M	\$5.78M
Current system	☠	🔌	✈		🔌	🔌	🔌	🔌	🔌	🔌	3,723	3		\$103M	\$26.8M

Figura 57. Comparación económica entre escenarios

Tomado de (Homer Energy, 2019)

RESUMEN DE COMBUSTIBLE

En los rangos de 6h00 a 18h00 el combustible tiende a estar ente los 0L a 300L como se aprecia en la Figura 58. También se aprecia que en los dos primeros trimestres se cuenta con la presencia de un rango de 600L a 800L.

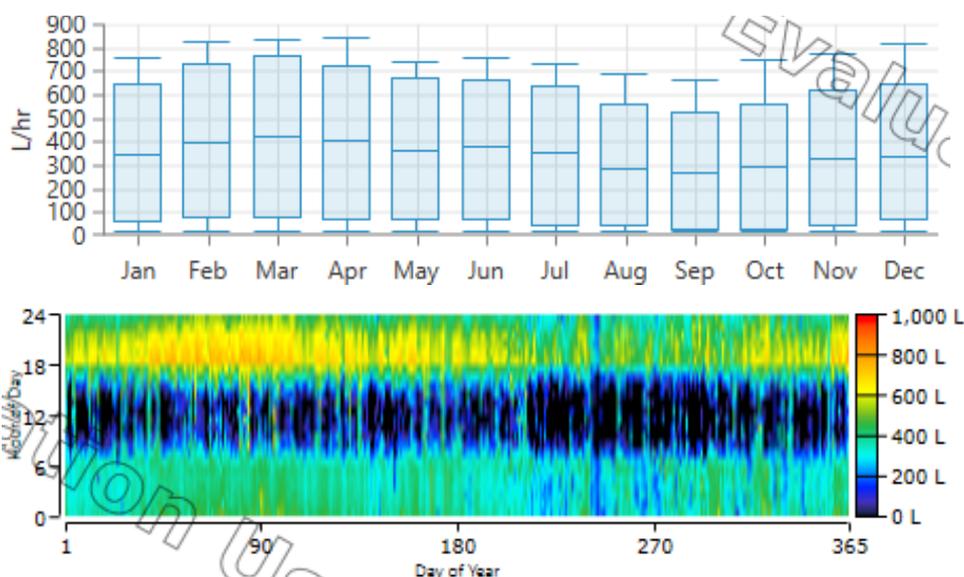


Figura 58. Análisis de resumen de combustible

Tomado de (Homer Energy, 2019)

BATERÍAS

El estado de carga muestra que en la mayoría de los meses del año la batería tiende a encontrarse en el rango de 94% a 99% en todo el día, como se observa en la Figura 59, como también se puede ver que en el mes de marzo la batería tiende a encontrarse en 87%.

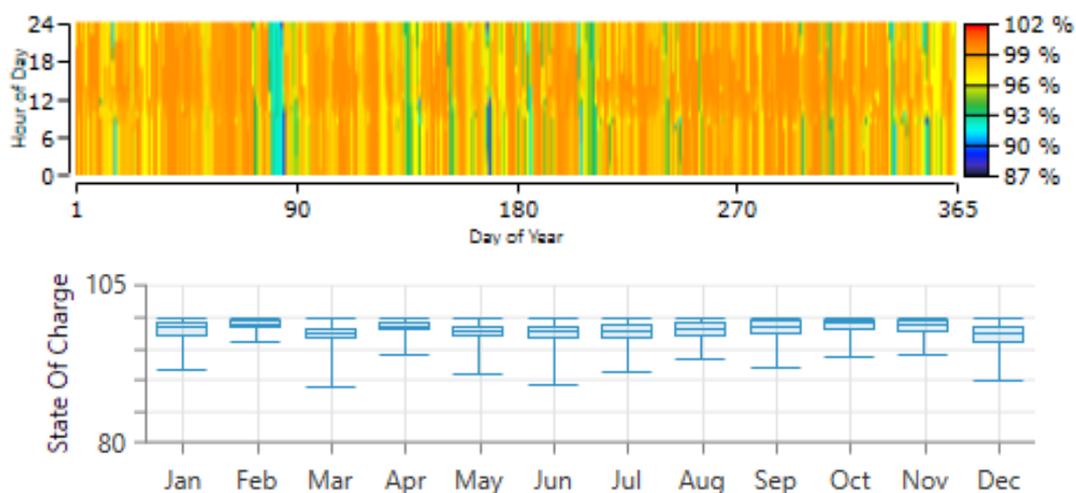


Figura 59. Estado de carga de baterías

Tomado de (Homer Energy, 2019)

TURBINA EÓLICA

La potencia de la turbina eólica tiene mayor valor entre los meses de junio a diciembre como muestra la Figura 60, esto se coincide con el clima que presenta la isla la cual es más frío.

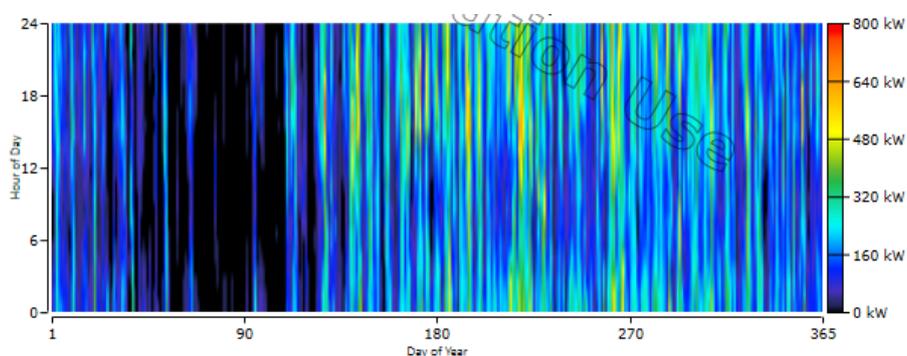


Figura 60. Potencia de aerogenerador

Tomado de (Homer Energy, 2019)

GENERADOR

De acuerdo a la Figura 61 se puede analizar que el generador no tiene gran porcentaje de uso.

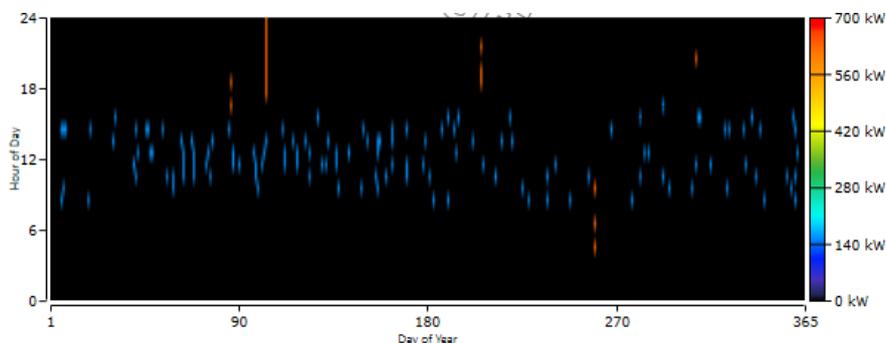


Figura 61. Energía de Generador

Tomado de (Homer Energy, 2019)

CONVERTIDOR DE SISTEMA

La salida del inversor no se presenta durante mucho tiempo, esto se debe a que desde corriente continua a corriente alterna solo se está usando la batería, para la generación de energía como se aprecia en la Figura 62. En comparación a la del rectificador que se presenta se encuentra vacío.

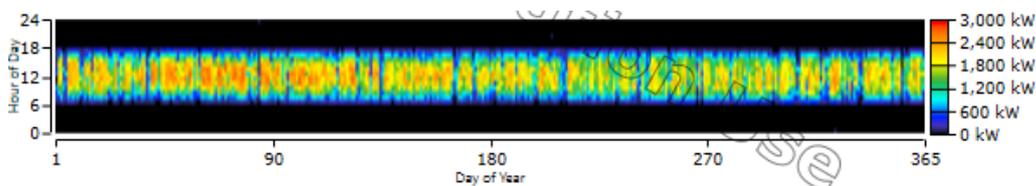


Figura 62. Salida de inversor

Tomado de (Homer Energy, 2019)



Figura 63. Salida del rectificador

Tomado de (Homer Energy, 2019)

EMISIONES

Las emisiones del sistema se aprecian en la Figura 64, en donde el dióxido de carbono de 7,886,025 kg/año.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	7,886,025	kg/yr
Carbon Monoxide	2,694	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	373	kg/yr
Particulate Matter	288	kg/yr
Sulfur Dioxide	19,561	kg/yr
Nitrogen Oxides	41,775	kg/yr

Figura 64. Emisiones

Tomado de (Homer Energy, 2019)

4.3 Resultados

En la Tabla 14. se detalla los resultados finales que se lograron obtener en cada escenario. Para la elección del mejor escenario se toma como prioridad el uso de energía limpia tomando en cuenta que los valores financieros sean coherentes.

En la tabla se aprecia que los escenarios toman valores crecientes, esto se debe a que se toma en cuenta un posible incremento de costos.

Tabla 14.

Resultados por escenarios

#	Escenario (\$/hr)	Sistema	NPC (\$)	COE (\$)	Costo Operacional (\$)	CO ₂ (kg/ y)
1	1.67	\$71,554,143.0 0	\$71,541,300.0 0	0.438 5	6,280,958. 00	9,284,40 9
2	2.26	\$88,054,739.8 4	\$88,041,900.0 0	0.539 7	7,459,038. 00	8,302,07 0
3	2.84	\$103,130,641. 07	\$103,117,800. 00	0.632 1	8,844,204. 00	7,886,02 6

La Tabla 15 detalla la inversión económica y la generación de energía adicional que tiene que hacer al sistema, con la finalidad de ser confiable, eficaz y óptimo.

Tabla 15.

Resultados de Inversión y Generación adicional.

#	Escenario (\$/hr)	% Penetración			Nuevo PV (kW)	Nuevo Costo (M \$)
		PV	E	G		
1	1.67	19.8	7.09	73.11	2,153	18,00
2	2.26	28.6	6.98	64.42	3,170	23,70
3	2.84	33	6.85	60.1655	3,723	26,80

Los tres son los escenarios seleccionados como los más óptimos según el optimizador de HOMER, en el capítulo de conclusiones y recomendaciones se comenta sobre los resultados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente sección, se realiza el análisis completo del trabajo de titulación, por medio de conclusiones y recomendaciones que se presentaron durante la creación de los posibles escenarios para obtener una microgrid en el cual será beneficiado el sector residencia de la isla san Cristóbal.

5.1 Conclusiones

HOMER Energy es un software que se utiliza para obtener la planificación de generación y almacenamiento de energía, debido a que cuenta valores estrictamente necesarios para un completo análisis de una microgrid, este análisis tiene como prioridad basarse en costos y la generación de energía limpia, para lo cual en el presente proyecto se tomó en cuenta como punto primordial la generación de energía con los componentes mencionados inicialmente para cada escenario. Sin olvidar que la información con la que cuenta Homer Energy son datos promedios, los cuales a su vez pueden ser modificados, con la finalidad de obtener un escenario más inclinado a la realidad.

La creación de varios escenarios es con la finalidad de encontrar un escenario óptimo que de alguna u otra forma busque cumplir con las características que cuenta la isla directamente para el sector residencial, basándose en temas ecológicos, para así en un futuro lograr suplir o contribuir con mayor porcentaje a la energía actual.

La falta de información para realizar un diseño es una parte fundamental. Ya que mientras no existan datos y si existen no sean confiables, los resultados tienden a ser poco precisos.

El costo del combustible se toma en cuenta ante una proyección de 20 años, razón por la cual se establecen los 3 valores diferentes, debido a que el precio del diésel es una incertidumbre y tomando la opción de que este aumente su precio, el primero que es el precio actual, el segundo con el 50% y el tercero con el 100% del valor actual del diésel.

El rectificador en cada uno de los casos posibles no se encuentra en funcionamiento, esto se debe a que las baterías tienen un costo elevado y el sistema prefiere no tomar en cuenta este campo.

La presencia de ciertos generadores no es de gran ayuda, como los Caterpillar quienes no brindan una gran utilidad frente al sistema, debido a que son menos eficientes en comparación al MTU 16V2000.

De acuerdo a los resultados, HOMER indica el uso de paneles fotovoltaicos si es necesario en el primer escenario con una generación de 2158 kW, en el segundo con la participación de 3170 kW y en el último con 3723 kW, esto tiende a la reducción de consumo de fósiles, debido a la contaminación y a temas económicos, debido a que los costos del diésel son un poco elevados.

5.2 Recomendaciones

Para el análisis de una microgrid es necesario realizar investigaciones sobre fuentes confiables, como las páginas web de las instituciones, caso contrario debido a la confidencialidad por el tipo de información es mejor acercarse a la institución de manera física, exponiendo que será de uso educativo.

Si se desea poner en ejecución la creación de la microgrid en el ámbito real, es recomendable realizar investigaciones más profundas, de datos tanto ambientales como técnicos y financieros, todo esto tomando en cuenta a la demanda de consumo de energía que presenta el sector, para poder obtener una simulación más inclinada a la realidad en caso de ser implementada.

Este tipo de proyectos de titulación son de gran interés a nivel mundial, por esa razón es recomendable la unión de estudiantes de otras carreras, como ambiental, finanzas entre otras, para la elaboración de un diseño, debido a que el software maneja varios campos inclinándose a ser lo más real posible.

Una recomendación importante es tratar de obtener una licencia para el software debido a que HOMER Energy solo brinda 21 días de uso gratuito, caso contrario trabajar en máquinas virtuales, si solo se desea contar con HOMER por pocos meses.

Para lograr llevar a cabo una planificación completa, se debe tomar en cuenta varios términos que hacen un posible diseño más real, como es la frecuencia.

REFERENCIAS

- ABB. (s.f.). *Small wind inverters*. Recuperado de https://library.e.abb.com/public/6229f2e20063e017c1257cc500491bc/b/Data_sheet_15-25_kW-WIND_INTERFACE_BCD.00433_NA_lowres.pdf
- ACCIONA. (2015). ¿Qué es la energía termosolar? | Sostenibilidad - YouTube. Recuperado el 10 de Octubre de 2018 de https://www.youtube.com/watch?time_continue=99&v=-_y8mJD7Mms
- AEOLOS Wind Turbine. (s.f.). *Aeolos-H 10Kw*. Recuperado de <http://energodyn.sk/wp-content/uploads/2015/09/Aeolos-H-10kw-Brochure.pdf>
- Alibaba. (s.f.-a). 3 Fase de 48 V 60 V 72 v generador de turbina de viento de 2 KW inversor de la rejilla. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018 de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/3-phase-48v-60v-72v-wind-turbine-generator-2-kw-wind-grid-tie-inverter-60796343296.html?spm=a2700.8699010.normalList.35.50a2756aQ7Rw9R>
- Alibaba. (s.f.-b). 380 V Estándar Vvfv Coche Voltaje Inversor De Frecuencia Para Generador De Viento - Buy Inversor De Frecuencia De Tensión, Unidad Vvfv Estándar, Inversor De Frecuencia Para Generador De Viento Product on Alibaba.com. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018 de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/380v-standard-vvfv-drive-voltage-frequency-inverter-for-wind-generator-60454393562.html?spm=a2700.8699010.normalList.2.50a2756aQ7Rw9R&s=p>
- Alibaba. (s.f.-c). Inversor Solar 12 V 220vac Luz Inversor Mppt Inversor Híbrido Al Aire Libre Generador De Viento 1kw - Buy Inversor Para Luz Única

220vac, Inversor Híbrido Mppt 12 V, Inversor Solar 1kw Product on Alibaba.com. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018 de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/solar-inverter-12v-220vac-single-light-inverter-mppt-hybrid-inverter-for-outdoor-wind-generator-1kw-60452808062.html?spm=a2700.8699010.normalList.14.50a2756aQ7Rw9R&s=p>

Benhamou, K. (2016). Morocco. In *Wind Power for the World* (pp. 580–592). Pan Stanford. <https://doi.org/10.1201/b15764-31>

CENER. (s.f.). Introducción a las Microrredes. Recuperado el 31 de Enero de 2019 de <http://www.cener.com/introduccion-a-las-microrredes/>

CERTS. (2019). *Consortium for Electric Reliability Technology Solutions*. Recuperado de Consortium for Electric Reliability Technology Solutions: <https://certs.lbl.gov/initiatives/certs-microgrid-concept>

Chudnovisk, B. H. (2017). *Transmission, Distribution, and Renewable Energy Generation Power Equipment Aging and Life Extension Techniques*. Taylor & Francis Group, LLC. Recuperado de <https://www.taylorfrancis.com/books/9781498754774/chapters/10.1201%2F9781315152790-10>

Chemical, H. (s.f.). *Descripción de la Batería VRLA*. Recuperado de <http://www.csb-battery.com.tw/upfiles/gen01478078909.pdf>

CIE. (2008). *Atlas solar del ecuador con fines de generación eléctrica*. Recuperado de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>

Clairand, J.-M., Arriaga, M., Canizares, C. A., & Alvarez, C. (2018). Power Generation Planning of Galapagos' Microgrid Considering Electric Vehicles and Induction Stoves. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2018.2876059>

Clairand, J.-M., Rodríguez-García, J., & Alvarez, C. (2018). Electric Vehicle Charging Strategy for Isolated Systems with High Penetration of Renewable Generation. *Energies*, 11, 3188. <https://doi.org/10.3390/en11113188>

CONECEL. (2013). IV Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental. Recuperado de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>

Consejo Europeo de Energías Renovables. (2010). Geotermia | Energías Renovables en Europa | Grupo Taylor & Francis. Recuperado el 11 de Octubre de 2018 de <https://www.taylorfrancis.com/books/9781136541186/chapters/10.4324%2F9781849775144-12>

Daniel Civantos. (2011). Un nuevo material permitiría usar en molinos eólicos aspas de hasta 250 metros de longitud | Futuretech. Recuperado el 28 de Octubre de 2018 de <http://blogs.lainformacion.com/futuretech/2011/09/07/aspas-turbina/>

ELECGALAPAGOS. (2018). INDICADORES DE GESTION – Empresa Eléctrica de Galápagos. Recuperado el 27 de Septiembre de 2018 de <http://www.elecgalapagos.com.ec/newsite/indicadores-de-gestion/#1506132169848-a5ff6cd4-770d>

Emeline Platel. (2016). *Energía solar fotovoltaica y adicional eólica para las Islas Galápagos*. Recuperado de <https://www.globalelectricity.org/content/uploads/Galapagos-Phase-II-feasibility-study-SPANISH.pdf>

ENAIR. (s.f.). *ENAIR* 30. Recuperado de https://www.merkasol.com/WebRoot/StoreLES/Shops/62387086/522B/7FF8/2A78/210F/20CE/C0A8/2981/C166/ficha_tecnica_minieolica

_ENAIR_30.pdf

Energía solar fotovoltaica - Energía Solar. (s.f.). Recuperado el 28 de Octubre de 2018 de <https://sites.google.com/site/energiasolarr12/energia-solar-fotovoltaica>

Estrada Gasca, C. A. (2013). *Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia* (Vol. 59). Recuperado de https://rmf.smf.mx/pdf/rmf-s/59/2/59_2_75.pdf

GlobalPetrolPrices.com. (s.f.). Ecuador diesel prices. Recuperado el 8 de Febrero de 2019 de https://www.globalpetrolprices.com/Ecuador/diesel_prices/

Green Energy Latin America. (2017). SMART GRIDS - REDES INTELIGENTES. Recuperado el 28 de Octubre de 2018 de <https://www.greenenergy-latinamerica.com/smart-grids-redes-inteligentes/>

GSEP. (2016a). *Energía solar fotovoltaica y adicional eólica para las Islas Galápagos*. Recuperado de <https://www.globalelectricity.org/content/uploads/Galapagos-Phase-II-feasibility-study-SPANISH.pdf>

GSEP. (2016b). *Proyecto Eólico Isla San Cristóbal-Galápagos 2003-2016*. Recuperado de www.globalelectricity.org/galapagos

IEA. (2011). *Smart Grids Roadmap*. Recuperado de www.iea.org/about/copyright.asp

IEA. (2013). *World Energy Outlook Special Report ENERGY-CLIMATE*. Recuperado de www.worldenergyoutlook.org/energyclimatemap

INER. (2018). Instituto nacional de eficiencia energética y energías renovables. Recuperado el 11 de Octubre de 2018 de <https://www.iner.gob.ec/geotermia/>

Jaime Moragues y Alfredo Rapallini. (2003). *ENERGIA EOLICA*. Recuperado el

29 de Octubre de 2018 de <https://docplayer.es/10404081-Energia-eolica-jaime-moragues-y-alfredo-rapallini.html>

NASA. (2017). POWER Data Access Viewer. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018 de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Navarro y otros. (2016). Estructura mecánica de un aerogenerador. Fuente: Modificado de [4]. | Descargar Scientific Diagram. Recuperado el 29 de Octubre de 2018 de https://www.researchgate.net/figure/Estructura-mecanica-de-un-aerogenerador-Fuente-Modificado-de-4_fig1_296622421

Samlex America. (s.f.). SA-3000K-124. Recuperado de http://www.codesolar.com/Energia-Solar/DOWNLOAD/Codesolar_Samlex_Inversor_SA-3000K-112_124_Samlex_Specifications.pdf

Seifi, H., & Sadegh Sepasian, M. (2011). *Electric Power System Planning: Issues, Algorithms and Solutions* (Vol. 49). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17989-1>

Serrano, R. (2016). *Tipos de paneles Fotovoltaicos*. Recuperado de <https://www.tritec-intervento.cl/productostritec/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>

SolarWorld. (s.f.). *Sunmodule Plus SW 285-300 MONO*. Recuperado de <https://www.wholesalesolar.com/cms/specs-2801912752.pdf>

Sonkyo Energy. (s.f.). *Características técnicas POTENCIA 1.5 Kw*. Recuperado de <http://www.antusolar.cl/wp-content/uploads/archivos/WS-1.5-KW.pdf>

TESLA. (2015). Energía Solar. Recuperado el 29 de Octubre de 2018 de <http://www.teslacc.com/division-servicios-especializados/energia-solar/>

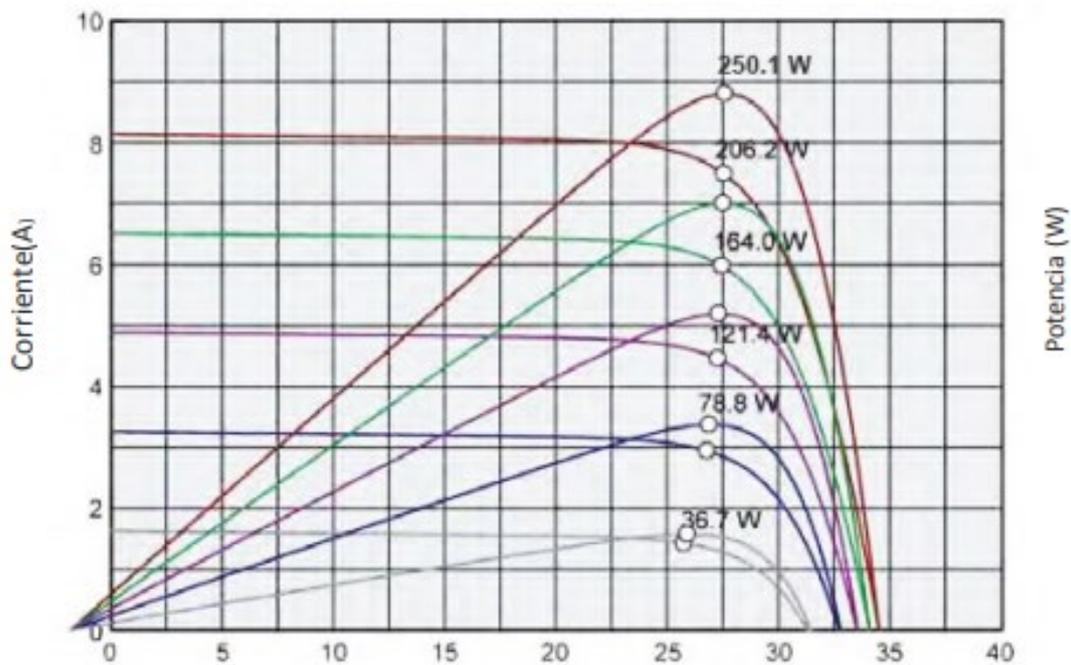
Ultracell. (s.f.). *AutoSolar*. Recuperado de AutoSolar:
<https://autosolar.es/pdf/UCG-138-12-ULTRACELL.pdf>

Victron Energy. (s.f.). *Controladores de carga SmartSolar MPPT 100/30 & 100/50*. Recuperado de
<http://supermercadosolar.es/fichas/31013%20Ficha%20Técnica.pdf>

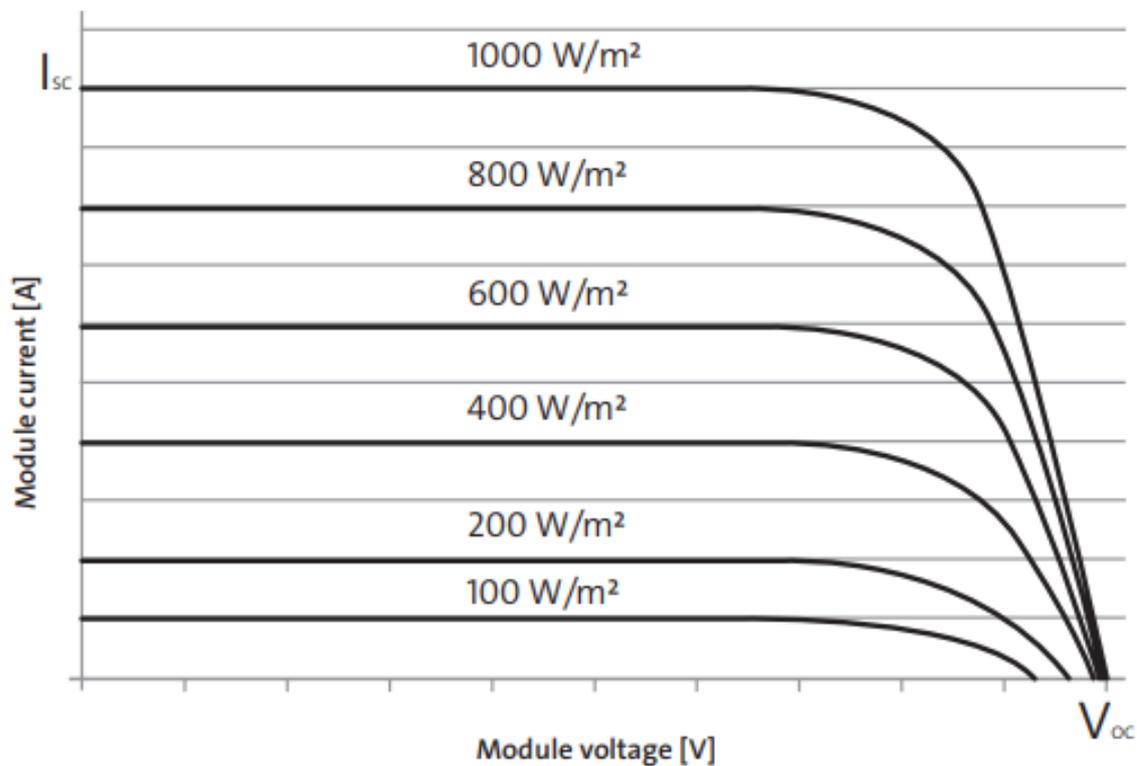
Zohan. (s.f.). *INVERSORES ZONHAN INVERSORES DE ONDA SINOIDAL PURA DE 300W HASTA 6000W!* Recuperado de
https://www.proviento.com.ec/ZONHAN_INVERTER_ES.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Curva de modelo CORA-250W



Anexo 2. Curva de modelo SW 300 MONO



Anexo 3. Curva modelo TSM-DE05A(II)

