



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO

**MAESTRIA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TEMA:

**Modelaje de un sistema híbrido eólico - solar para el análisis del comportamiento de
electrificación en poblaciones del golfo de Guayaquil mediante Matlab & Simulink**

AUTOR:

Cáceres Galán César Antonio

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
Magister en Electricidad con mención en Energías Renovables y Eficiencia Energética**

TUTOR:

Dr. Lata García Juan Carlos PhD.

Guayaquil, 27 marzo del 2024



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRIA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA

CERTIFICACIÓN

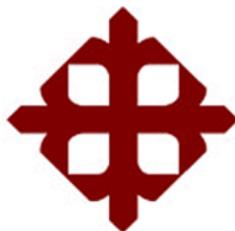
Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Cesar Antonio Cáceres Galán como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TUTOR

Dr. JUAN CARLOS LATA GARCIA PhD.

DIRECTOR DEL PROGRAMA
ING. BAYARDO BOHORQUEZ, PhD

Guayaquil, 27 marzo del 2024



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRIA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Cesar Antonio Cáceres Galán

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**MODELAJE DE UN SISTEMA HIBRIDO EÓLICO - SOLAR PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ELECTRIFICACIÓN EN POBLACIONES DEL GOLFO DE GUAYAQUIL MEDIANTE MATLAB & SIMULINK**”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 27 marzo del 2024

EL AUTOR

Cesar Antonio Cáceres Galán



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRIA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Cesar Antonio Cáceres Galán

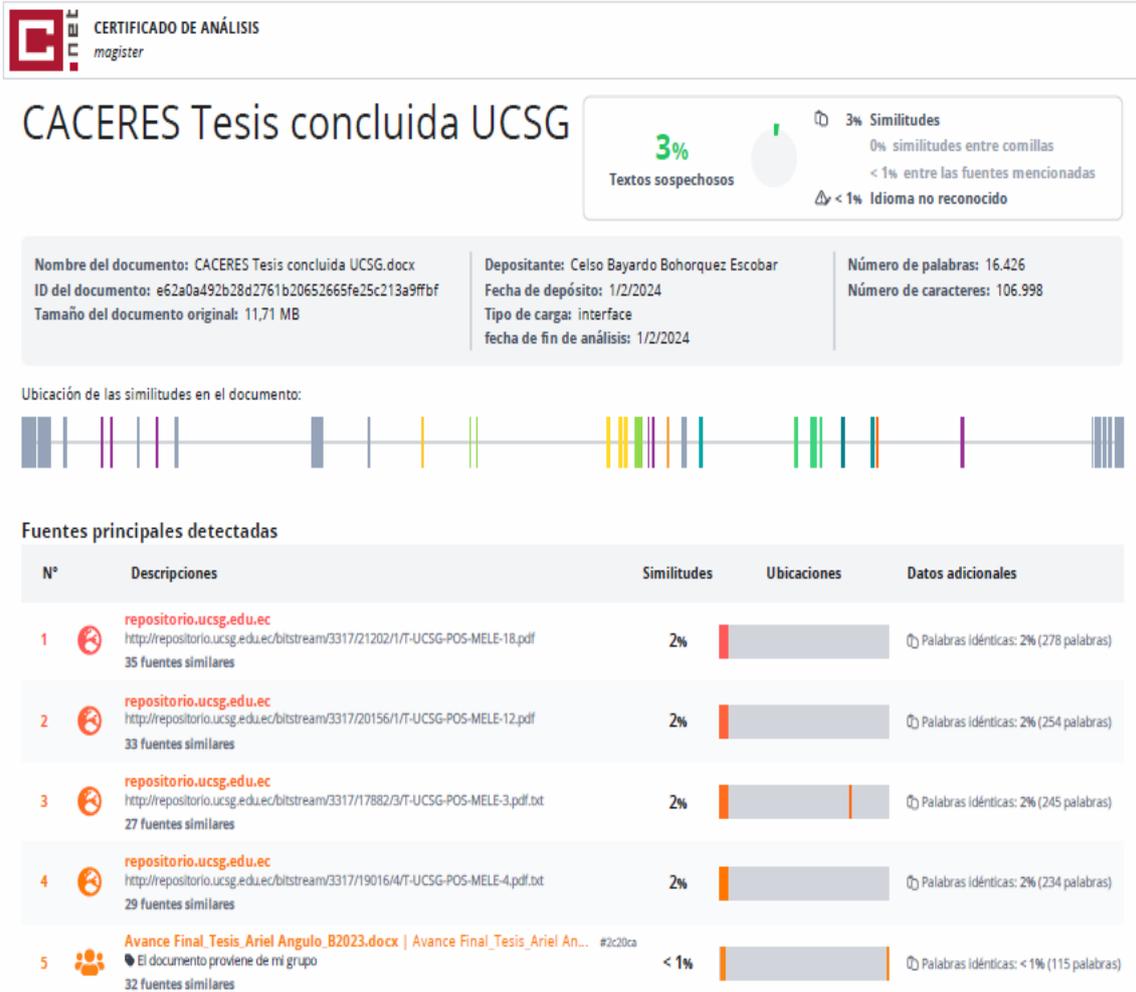
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación de Maestría titulado: **“MODELAJE DE UN SISTEMA HIBRIDO EÓLICO - SOLAR PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ELECTRIFICACIÓN EN POBLACIONES DEL GOLFO DE GUAYAQUIL MEDIANTE MATLAB & SIMULINK”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 27 días del mes de marzo del año 2024

EL AUTOR

Cesar Antonio Cáceres Galán

INFORME DE COMPILATIO



Reporte Compilatio del Trabajo de Titulación denominado “**MODELAJE DE UN SISTEMA HIBRIDO EÓLICO-SOLAR PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ELECTRIFICACIÓN EN POBLACIONES DEL GOLFO DE GUAYAQUIL MEDIANTE MATLAB & SIMULINK**” del Ingeniero **Cesar Antonio Cáceres Galán**. Una vez efectuado el análisis anti plagio el resultado indica 3% de coincidencia.

DEDICATORIA

El desarrollo del presente trabajo de titulación es dedicado a Dios nuestro señor por ser el pilar fundamental de mi vida, permitiéndome cada día ser mejor para llegar hasta este punto tan importante de mi carrera profesional.

Además de ello a la memoria de mis padres que desde el cielo siempre me apoyan la Sra. Catalina Galán Pérez y el Sr. César Cáceres Freire, a mis hijos por su cariño y preocupación hacia mi como padre. A mis amigos y familiares por ser el impulso anímico de cada día para seguir luchando por mis ideales y principios.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la oportunidad de alcanzar un éxito más de mi vida, a mis familiares y amigos por su apoyo constante y por estar siempre pendientes de mi desarrollo personal y profesional.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por inculcarnos el conocimiento en los diferentes módulos por parte de sus Docentes y desarrollar así las virtudes de un profesional para el País.

En especial a mi director de Proyecto de Titulación el Dr. Juan Carlos Lata, PhD., quien me brindo el apoyo constante e incondicional en el desarrollo de este Proyecto de Maestría.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO**

**MAESTRIA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.

Ph.D. Lata García Juan Carlos

TUTOR

f.

Mgs. Mazzini Muñoz Gustavo Miguel

REVISOR

f.

Mgs. Bohórquez Heras Diana Carolina

REVISOR

f.

Ph.D. Bohórquez Escobar Celso Bayardo

DIRECTOR DE MAESTRÍA

INDICE GENERAL

Table of Contents

INDICE GENERAL	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPITULO 1	2
1.1. INTRODUCCIÓN	2
1.2. ANTECEDENTES	4
1.3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	4
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.5. EL PROBLEMA	5
1.6. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO	6
1.7.1. Objetivo general	8
1.7.2. Objetivos específicos	9
1.8. HIPOTESIS	9
1.8.1. Variable Independiente	10
1.8.2. Variable Dependiente	10
1.8.3. Variables Intervinientes	10
CAPITULO 2	11
MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. MARCO LEGAL PARA USO DE ENERGIAS RENOVABLES EN ECUADOR.	11
2.2. LA ENERGÍA EÓLICA	13
2.2.1 La energía eólica en el Ecuador	14
2.2.2 El Generador Eólico	15
2.3. LA ENERGÍA SOLAR	20
2.3.1 La energía solar en el Ecuador	20
2.3.2 Radiación Solar	23
2.3.3 Tipos de paneles solares.....	24
2.3.4 La Curva del panel solar.....	26
2.4. COMPONENTES DEL SISTEMA HIBRIDO RENOVABLE.....	29
2.4.1. Bancos de baterías solares	29
2.4.2. Seguidor de punto de potencia máxima MPPT.....	31
2.4.3. El Inversor.....	33
2.5. LOS SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES	35

2.6	HERRAMIENTAS TECNOLÒGICAS	37
2.6.1	Software MATLAB.....	37
2.6.2	Software SIMULINK:	38
2.6.3	SOFTWARE HOMER: (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources),	40
CAPITULO 3	.....	42
3.1	ANTECEDENTES	42
3.2	DESARROLLO DEL PROGRAMA	42
3.2.1	Gestión del sistema eólico de energía	42
3.2.2	Estructura del programa para obtención de energía eólica.....	42
3.2.2.1	Bloque 01: Almacenamiento de información del viento.....	43
3.2.2.2	Bloque 02: Mascara de perfiles y densidad del viento.....	43
CAPITULO 4	.....	51
4.1	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ELECTRIFICACIÓN EN POBLACIONES DEL GOLFO DE GUAYAQUIL.....	51
4.1.1	Introducción	51
4.2	LUGAR DE CASO DE ESTUDIO	52
4.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	54
4.4	DIMENSIONAMIENTO TÉCNICO DEL SISTEMA HÍBRIDO	54
4.4.1	Variables meteorológicas	55
4.4.2	Componentes utilizados	56
4.5	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	57
4.5.1	Resultados energéticos.	57
4.5.2	Resultados económicos.....	60
4.6	MODELADO DEL SISTEMA EN MATLAB.....	61
4.6.1	Análisis y resultados del modelado	66
CONCLUSIONES	.....	69
RECOMENDACIONES	.....	70
BIBLIOGRAFIA	.....	71
ANEXOS	.....	73
1.2.	ANEXO – 01:	74

RESUMEN

El proyecto se diseñó mediante el modelaje de un sistema híbrido eólico/solar fotovoltaico para analizar el comportamiento de la electrificación en la generación de energía para una población aislada de la red de energía convencional, específicamente el sector MASA 2 que cuenta aproximadamente con 85 habitantes y está ubicada en el Golfo de Guayaquil, la misma que es declarada como reserva ecológica protegida.

Las variables meteorológicas usadas fueron medidas durante veinte años, datos obtenidos del Instituto Oceanográfico del Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y bases meteorológicas disponibles. El punto inicial de partida de la simulación donde se utiliza el software HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) y como resultado de dicha simulación del programa HOMER se presenta en una tabla todos los resultados de las diferentes combinaciones de acuerdo con las variantes de forma ordenada y usando el capital inicial como punto de referencia.

Del mismo modo se utilizó el software Matlab (Matrix LABoratory) con la herramienta adjunta Simulink para calcular y comprobar la viabilidad del proyecto y sus componentes. Finalmente, combinando los criterios técnico-económicos de la simulación, tales como el costo de la energía eléctrica, costo del sistema y la demanda insatisfecha de la carga debido a la pobreza energética del sector, se seleccionó la variante que mejor se ajusta a las necesidades de la población indicada.

Palabras claves

Sistema híbrido;

Simulación mediante Matlab;

Electrificación rural;

Sistema de dimensionamiento HOMER;

Generación de energía eléctrica renovable

ABSTRACT

This project was designed through the modeling of a hybrid wind-photovoltaic system to analyze the electrification behavior in the production of electrical energy for a population isolated from the electrical network, specifically the MASA 2 sector that has approximately 85 inhabitants and is in the Gulf of Guayaquil which is declared as a protected ecological reserve.

The meteorological variables used were measured over twenty years, data obtained from the Oceanographic Institute of Ecuador and the National Institute of Meteorology and Hydrology. These are the starting point for simulation using HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) software. As a result of the simulation, HOMER shows a table of results with the combination of all possible variants, ordered using the initial capital, in the same way, the MATLAB software (Matrix Laboratory) was used with the accompanying Simulink tool to calculate and check the viability. of the project and its components. Finally, combining technical-economic criteria, such as the cost of electricity and the unsatisfied demand due to the energy poverty of the sector, the variant that best meets the needs of the indicated population was selected.

Keywords

Hybrid wind-photovoltaic system.

Simulation using MATLAB.

Rural electrification.

HOMER sizing system.

Generation of renewable electrical energy.

CAPITULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, muchas familias no tienen acceso a la electricidad convencional, sobre todo en zonas rurales y protegidas ambientalmente como: islas, serranías y manglares; donde esta energía es suministrada por generadores eléctricos accionados por motores de combustión interna (MCI). Sin duda la producción de energía eléctrica a partir de combustibles de origen fósil es costosa y emite gran cantidad de dióxido de carbono (CO₂), con la presencia de otros gases de efecto invernadero (GEI) lo cual genera contaminación al ambiente. Por lo tanto, el uso de combustibles fósiles para este fin desperdicia mucha energía térmica en el proceso, obteniendo poca energía eléctrica, esto complementado por el transporte y almacenamiento de combustibles fósiles hacia zonas remotas con graves obstáculos que implican gastos adicionales. (Corral, Garcíaavillalba, Caberta, & Alberto, 2014).

Actualmente la sociedad está experimentando cambios climáticos debido a altas concentraciones de GEI, estos conformados por CO₂, familia de los NO_x, SO_x, CH₄, etc. A lo largo de los últimos años, el nivel de estos GEI mantiene una tendencia ascendente que conlleva al aumento de temperatura del planeta, desertización, deshielos etc., por tanto es conveniente reducir la contaminación y con ello los niveles de GEI (Medina Bañón & Peñalvo López, 2017).

La utilización de estos recursos naturales en el diseño de sistemas energéticos híbridos renovables (SEHR) que combina en una sola instalación varios tipos de energía tanto renovable como fósil, lo cual optimizará las condiciones de la energía cinética del viento y fotoelectrones del sol, las cuales se complementan entre sí, ya sea en días opacos o nublados, lo cual no permite el aprovechamiento correcto de la energía del sol, por otro lado, son ideales para las turbinas de viento. En cambio, los días soleados con poco viento, son adecuados para las placas fotovoltaicas (Herrera Barros, 2011).

Sobre la base de los antecedentes expuestos, nos preguntamos cómo diseñar un sistema híbrido donde se compruebe técnicamente su eficacia y eficiencia para el suministro de energía eléctrica hacia poblaciones del Golfo de Guayaquil, que hoy

están sin electrificar, específicamente para nuestro caso de estudio es el sector conocido como MASA 2 como punto de partida para nuevos y futuros proyectos.

Para responder a ello nuestro objetivo es realizar una simulación aplicando la herramienta MATLAB para el diseño de un sistema híbrido renovable, verificando así su eficacia y eficiencia mediante la aplicación de SIMULINK, para electrificar poblaciones del Golfo de Guayaquil, esto permitirá cumplir con las siguientes metas:

- Analizar las condiciones del sitio seleccionado para realizar las simulaciones identificando los recursos energéticos del entorno de trabajo y la información meteorológica existente.
- Desarrollar varias simulaciones que comprueben la eficacia y eficiencia del sistema híbrido.
- Analizar los resultados obtenidos demostrando la viabilidad técnica, económica, ambiental y social de la propuesta.

Para complementar este estudio, es importante identificar los recursos energéticos del entorno de trabajo y la información captada por estaciones meteorológicas, luego ingresar estos datos a MATLAB para su simulación y análisis mediante SIMULINK, para analizar los resultados, los mismos que se registrarán en el programa HOMER para dimensionar los equipos y su posterior estudio de factibilidad como de sostenibilidad del proyecto.

Una de las características importantes de la generación híbrida mediante la utilización de fuentes no convencionales de energía, tiene que ver con la disponibilidad del recurso energético, ya que, por su naturaleza, es de tipo aleatorio o discontinuo, pues con base al diseño de este sistema se puede ofrecer un suministro continuo de energía dentro del rango de potencia instalado, almacenando energía no utilizada para ser manejada en los momentos que no se cuenta con la misma desde la fuente (Guacaneme Moreno, Trujillo Rodríguez, & Peña Suesca, 2007).

Lo importante del proyecto es que se genera un camino para desarrollar ideas que permitan optimizar procesos con sistemas híbridos que implican tanto energías renovables como convencionales a base de combustible fósil.

1.2. ANTECEDENTES

Sudamérica debido a la ubicación posee un alto potencial para la generación de energía renovable de varios tipos de fuentes. Hay obstáculos para el acceso a la electricidad confiable y segura (alrededor de 19.04 millones de habitantes no tienen electrificación según SIER – OLADE–2018) otras poblaciones tienen electrificación rural, pero tienen poca confiabilidad por cortes de energía constante, sobre todo en sistemas aislados en lugares remotos y de difícil acceso. En este modelo, los sistemas de generación híbrido brindan una alternativa válida al menor costo efectivo de la energía y reducir el tiempo de uso del generador diésel que utiliza combustibles fósiles y con ello fomentar el acceso de electrificación a poblaciones vulnerables, de forma sostenible y limpia al ecosistema.

Es importante considerar que un sistema de generación híbrido renovable no tiene como finalidad eliminar el consumo de combustible, sino disminuirlo. Las baterías buscan amortiguar las variaciones del voltaje de generación. El dimensionamiento de los componentes del sistema híbrido busca obtener una combinación óptima entre el tamaño de la instalación renovable, las baterías y el generador fósil, minimizando el costo total y maximizando las horas de suministro (Corral et al., 2014).

1.3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

A nivel mundial el consumo energético a partir de combustibles fósiles está en su límite y el compromiso del país es buscar mecanismos para la producción de energía eléctrica renovable, actualmente existe gran cantidad de información que indica el potencial energético aprovechable en el sector.

Este entorno sitúa al Golfo de Guayaquil y específicamente su comuna MASA 2 como caso de estudio de este proyecto ya que además de ser zona protegida debido a la biodiversidad del ecosistema, se regulan las actividades en esos espacios que impliquen impactos ambientales, tal es el caso de la instalación de redes eléctricas convencionales, por lo tanto basado en ese hábitat se genera la propuesta de estudio híbrida para analizar el comportamiento en la producción de energía eléctrica alternativa eólica y solar en la comuna MASA 2 del Golfo de Guayaquil, minimizando el impacto ambiental de las mismas sobre la naturaleza.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El Golfo de Guayaquil con sus 14 islas es una zona territorial protegida por leyes ambientales del Gobierno del Ecuador tales como *el artículo 6 de la Ley Ambiental que indica: el aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro de áreas protegidas, así como también el artículo 19 donde indica: las obras de tipo públicas, privadas, mixtas o proyectos para inversiones que causen impacto ambiental serán calificados antes de su implementación*, todo ello impide el suministro de energía eléctrica mediante redes eléctricas convencionales o provenientes de combustible fósil, debido a esto se propone como solución a ello: el modelaje de un sistema híbrido eólico-solar para analizar el comportamiento de electrificación para la producción y almacenaje de energía eléctrica renovable, reduciendo así el impacto ambiental hacia el ecosistema. Siendo la formulación del problema:

¿Es posible el modelaje de un sistema híbrido eólico-solar para analizar el comportamiento de electrificación en poblaciones del Golfo de Guayaquil mediante las herramientas tecnológicas Matlab & Simulink?

1.5. EL PROBLEMA

La limitación de energía eléctrica en el sector de Masa 2 ubicado en el golfo de Guayaquil, así como el impacto ambiental provocado por la utilización de combustible fósiles para operar los generadores eléctricos tanto a diésel como a gasolina instalados en la comuna, afectan de forma global al ecosistema del golfo de Guayaquil, perjudicando tanto al entorno natural, es decir flora y fauna como a las especies que habitan en el sector y más aún a sus pobladores que se ven afectados ya que residen en estos hábitats.

La situación mencionada establece una contaminación ambiental severo de las especies que lo habitan por la emanación de GEI por parte de grupos electrógenos, y el ruido que producen estos equipos en el entorno que genera el cambio de habitad en las especies del sector, migrando estas hacia otros lugares.

Una de las problemáticas del proyecto es que este entorno es una zona protegida por el Gobierno Nacional del Ecuador, al considerarse espacio natural de manglares y especies con biodiversidad variable, tal como se observa en la figura 01 detallada como flora y fauna en riesgo de extinción.

El Golfo de Guayaquil es un estuario donde la principal característica es su alta productividad, la localidad presenta la mayor cantidad de manglares en todo el Ecuador, en el sitio se ubican 5 áreas que han sido consideradas como Patrimonio de Áreas Naturales del País. Otra de las riquezas del lugar es la gran cantidad de peces por lo que se desarrollan importantes tareas de pesca artesanal y de tipo industrial. El lugar considerado una plataforma continental está compuesta por 12.000 km² aproximadamente, esta medida es casi la mitad del área total que conforma la plataforma continental del Ecuador, tal como se indica en la figura 02 adjunta.

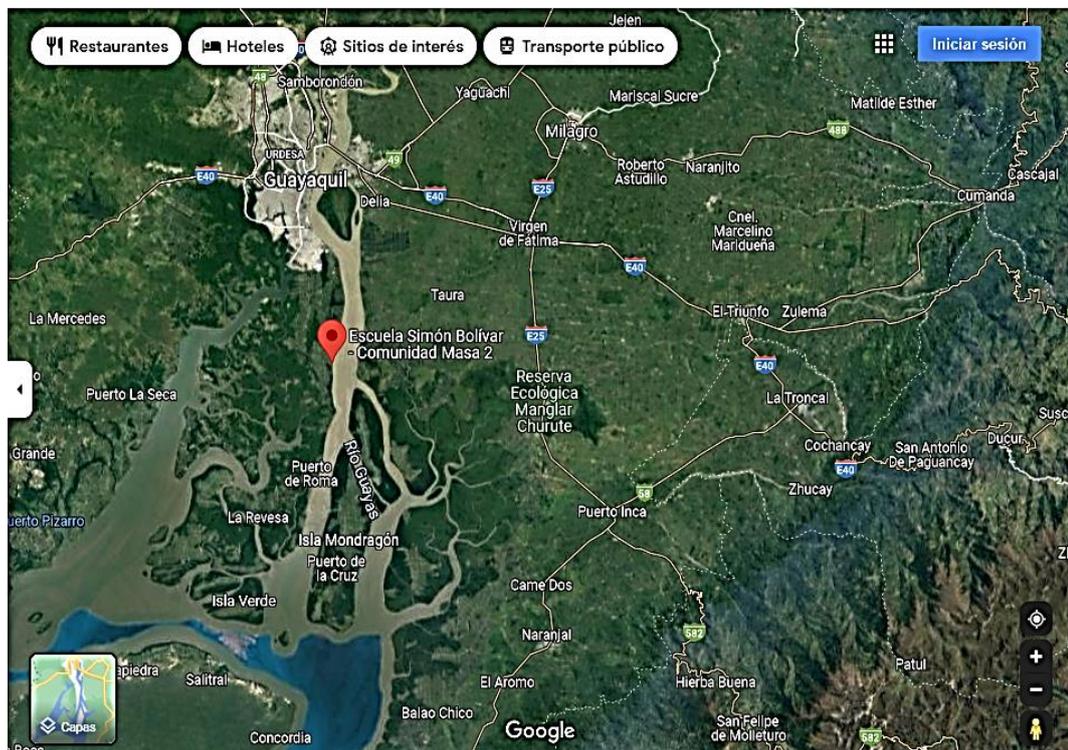


Figura 02. Ubicación geográfica de Masa 2 en el Golfo de Guayaquil
Fuente: <https://www.google.com/maps>

La hidrométrica es bastante variable, con profundidades desde los 180m en el borde exterior llegando a menos de 20m medidos en la parte interior del estuario. Varias islas se sitúan en el área, algunas de gran tamaño como es el caso de la isla Puna, las medidas que tiene son de 25 km de ancho, la superficie total es de 919 km², otra isla

de gran importancia es Santa Clara con un ancho de 1.6 km, la superficie total es de 45ha. En cuanto a la climatología debido a que se encuentra localizado en un clima tropical donde existen variaciones estacionales.

Adicionalmente el Golfo de Guayaquil está conformado por 14 islas y varios islotes. En lado del Ecuador se ubica la Isla Puná, en la historia se indica que los conquistadores españoles la bautizaron con el nombre de Santiago siendo la más grande con un área de 920 km². A una distancia de 10 km se ubica la Isla Santa Clara conocida popularmente con el nombre de isla del Muerto.

La ciudad de Guayaquil se encuentra atravesada por el Estero Salado, dejando varias islas dentro de la ciudad entre las más conocidas esta la famosa Isla Trinitaria, otras islas como, Bellavista y Santa Ana también se ubican en el área. Mientras que al navegar en el río Guayas se encuentran las islas Sabana Grande, sabana Chica, isla de los Chupadores, isla Matorrillos, la conocida como isla Mondragón, la isla de los ingleses, y turística Isla Santay que se encuentra frente a Guayaquil a una distancia de 800m, mientras que por el lado de Perú se encuentran varias islas entre las que se destacan la isla Correa, isla Matapalo y la isla de Roncal.

Además de acuerdo con la figura 02 adjunta podemos observar la ubicación geográfica de nuestro entorno en análisis, esto es Masa 2 cuyas coordenadas son: - 2.355207; -79.860616 respectivamente, importante indicar que existen varias comunas cercanas que pueden ser analizadas a futuro, así como mencionar que en octubre del año 2020 se realizaron estudios e implementaciones de paneles solares a pequeña escala como prototipo en la población, de tal manera que se inicie un estudio a mediana y gran escala como es el caso del presente proyecto de tesis.

1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.7.1. Objetivo general

Desarrollar el modelaje de un sistema híbrido eólico-solar para el análisis del comportamiento de electrificación en poblaciones del Golfo de Guayaquil, específicamente la comuna MASA 2, que utilizando las herramientas de Matlab & Simulink se debe analizar y validar un sistema energético híbrido renovable a

partir de la producción de energía eléctrica eólico-solar, ya que a través del estudio y diseño tanto de factibilidad como de sostenibilidad de un modelo matemático, elaborado mediante la aplicación de las herramientas: Matlab & Simulink, permitirá determinar la contribución del suministro de energía eléctrica limpia, así como también la disminución del impacto ambiental que genera el proyecto tanto a favor del entorno como de las poblaciones adyacentes al Golfo de Guayaquil.

1.7.2. Objetivos específicos

De acuerdo con el presente proyecto de investigación las metas y objetivos que se pretenden alcanzar en el desarrollo del tema de titulación son los siguientes:

- Fundamentar el estudio del sistema híbrido renovable basado en la reducción del impacto ambiental a partir de la producción, distribución y consumo de energía eléctrica fósil en el Golfo de Guayaquil.
- Establecer mediante el análisis del sistema híbrido eólica-solar los niveles óptimos de energías tanto eólica como solar del entorno de trabajo.
- Caracterizar y diagnosticar el estado del impacto ambiental debido al uso de energía fósil en el Golfo de Guayaquil.
- Determinar las categorías y factores que permitan diseñar, simular y validar el modelo matemático automatizado para la producción y almacenamiento de energía eólico-solar a partir de los datos extraídos del diagnóstico.
- Diseñar y validar el estudio del proyecto, así como la sostenibilidad para un modelo matemático utilizando las herramientas: Matlab & Simulink, así como el uso de Homer-pro que dimensione los equipos necesarios para determinar la producción y almacenaje de energía eléctrica renovable mediante un sistema híbrido eólico-solar.

1.8. HIPOTESIS

La aplicación de la herramienta Matlab y Simulink permiten obtener el modelaje del sistema híbrido eólico-solar para el análisis del comportamiento de electrificación en las poblaciones del Golfo de Guayaquil, específicamente la comuna MASA 2, comprobando la eficacia y la eficiencia energética, lo que contribuye a maximizar la producción de energía eléctrica del sistema híbrido y a disminuir el impacto

ambiental, esto favoreciendo en todo aspecto al ecosistema natural y las poblaciones del Golfo de Guayaquil.

1.8.1. Variable Independiente

Energías eólica y solar presentes en el Golfo de Guayaquil Comuna Masa 2

1.8.2. Variable Dependiente

- Energía eléctrica a partir de los recursos naturales eólico y solar del entorno.
- Impacto medio ambiental sobre el ecosistema del Golfo de Guayaquil.

1.8.3. Variables Intervinientes

- Optimización del modelo matemático mediante la aplicación de Matlab y Simulink.
- Diagnostico (estado del arte - caracterización): energía fósil – afectaciones al medio ambiente – poblaciones.
- Dimensionamiento de los equipos para el sistema híbrido eólico y solar mediante la aplicación del programa HOMER.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

Sobre la base de las características del proyecto se detalla a continuación una breve reseña del marco teórico utilizado para el presente estudio, lo cual implica una serie de definiciones básicas que se complementan para llegar al objetivo final del proyecto.

2.1. MARCO LEGAL PARA USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR.

Para respaldar de forma legal el diseño de este tipo de proyectos se adjunta la documentación pertinente que permite gestionar la aplicación de estas tecnologías, pero sobre todo el respaldo a nivel de ingeniería para la utilización de energías limpias.

- Mediante decreto ejecutivo N.475 del 19 de julio del 2007, el gobierno del Ecuador forma el MEER (ministerio de electricidad y energías renovables), que es el órgano rector y encargado de la planificación del sector eléctrico, el mismo que buscará promover la eficiencia energética en el país, junto al desarrollo y uso de buenas prácticas con tecnologías ambientales limpias, confiables y probadas, el uso de energías renovables diversificadas es otro de los objetivos planteados.
- El MEER formula el plan nacional de eficiencia PLANEE, el cual promueve el incremento del uso eficiente de todos los recursos energéticos presentes en el país, una serie de programas y proyectos son ejecutados con base en la eficiencia energética de electrodomésticos, proyectándose en reducir el consumo de origen fósil, con ello contribuir al cuidado del medio ambiente.
- El PLANEE tiene previsto que durante el periodo 2016 al 2035 se promueva el uso energías renovables principalmente las de alto potencial, así como de equipos con alta eficiencia energética, para lo cual promueve la exoneración de impuestos por la utilidad de estas tecnologías, situación que se aplica debido a que el Ecuador planifica consumir 543 Mbep, el rubro representa un ahorro de \$ 84.131 para las arcas del país. Para ello se creó el flamante INER

(Instituto Nacional de Eficiencia Energética), con el fin de mejorar e impulsar todo lo referente a energías renovables y el uso eficiente de la misma.

Ecuador en la legislación tiene políticas de incentivo con el uso de energías renovables, tal como se establece la ley conocida como de régimen del sector eléctrico en su **artículo 67** que menciona: *“se exonera el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras. Exonerase del pago de impuesto sobre la renta, durante cinco años a partir de su instalación a las empresas que, con su inversión, instalen operen centrales de producción de electricidad usando los recursos energéticos no convencionales señalados en el inciso anterior”* (Parra Aguirre, 2018).

- La primera disposición general de la Regulación **Nro. ARCERNR 002/21 (Anexo-01)** dispone que, la forma de liquidación de las transacciones comerciales de las empresas generadores y los excedentes de las empresas auto generadoras que como fuente de generación utilizan energías renovables no convencionales, las cuales se acogieron al esquema de condiciones tipo preferentes previo a la expedición de los artículos de la LOSPEE, el CENACE tienen que liquidar la energía que se entrega al sistema eléctrico con el cargo definido a los Títulos Habitantes, el valor será informado al CENACE por la ARCERNR. Los valores serán cubiertos tanto para la demanda regulada y no regulada de acuerdo con la proporción de su demanda comercial.

Estos argumentos permiten analizar y desarrollar este tipo de proyectos que conllevan utilizar energías renovables de acuerdo con el entorno, siendo esta una de las razones que direccionan los esfuerzos a gestionar el presente proyecto de tesis que permitirá evaluar lo antes mencionado.

A continuación, se presentan los detalles y características técnicas referentes a los tipos de energías renovables a utilizar y su tecnología, de tal manera que la idea que se forme sea concreta, siendo estas las siguientes:

2.2. LA ENERGÍA EÓLICA

Actualmente la energía eólica es una fuente energética de gran importancia, ya que utiliza recursos renovables limpios que no generan contaminación y por tanto no perjudica al medio ambiente. Las turbinas o aerogeneradores basados en los antiguos molinos de viento se instalan a grandes alturas y extensas planicies de terreno donde se aprovecha una considerable cantidad de viento, siendo el mismo capturado por un aerogenerador obteniendo así electricidad.

La energía de origen eólica instalada alrededor del mundo creció aproximadamente un 53% en el año 2020, llegando a alcanzar los 743 GW, de acuerdo a datos proporcionados por el Global Wind Energy Council (GWEC) en el 2020, lo cual se muestra en la figura 03 adjunta, hasta el momento es la mayor introducción de energía eólica de la historia a nivel mundial con nuevos 93 GW de capacidad instalada y funcionando, siendo países como China y Estados Unidos los mayores productores de este tipo de energía seguido por Alemania, India y España.

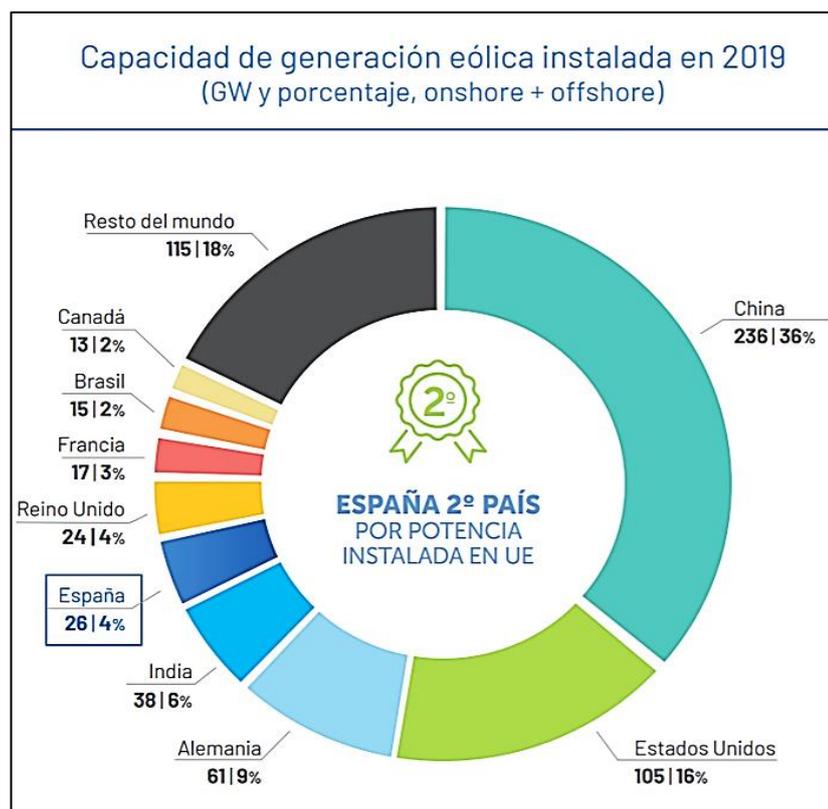


Figura 03: Capacidad de generación eólica al 2019
<https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo>

Al año 2019 la capacidad mundial total de energía eólica fue de 650 GW, conformada por 621 GW en parques eólicos onshore (terrestres) y 29.1 GW en parques eólicos offshore (marinos), según la figura 03 muestra los principales países que generan mayor cantidad de energía eólica en el mundo.

2.2.1 La energía eólica en el Ecuador

Según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ecuador aprovecha en varios puntos del país la energía eólica, siendo estos:

- a) La Isla San Cristóbal con el proyecto “El Tropezón” con una capacidad total de 2,4 MW y conformado por 3 aerogeneradores cada uno de ellos con 800 kW.
- b) En el sur del país, en Loja se instaló el proyecto “Villonaco I” con una potencia de 16,5 MW en las turbinas, se conforma de 11 aerogeneradores del fabricante GW70/1500 con una potencia unitaria de 1.5 MW cada uno y con una velocidad anual en promedio de 12.7 m/s, la altura el proyecto es de 2700 msnm. La subestación de elevación Villonaco de 34.5 kV/69 kV con capacidad del transformador de 25 MVA y con conexión de barra principal / transferencia, según figura 04 adjunta.



Figura 04: Parque Eólico Villonaco I

<https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/84-central-eolica-villonaco>

- c) Además del proyecto en “Isla Santa Cruz-Baltra” conformado por tres aerogeneradores con capacidad de 2,25 MW cada uno, para un total de 6.75MW.
- d) En un mediano plazo, Ecuador incorporará nueva capacidad eólica con los proyectos “Villonaco II y III” con (100MW).
- e) El nuevo proyecto eólico llamado Minas de Huascachaca, se ubica en el cantón Saraguro en la provincia de Loja, tiene un avance del 98% en su construcción, para ello el Ministerio de Energía considera que este complejo eólico aporte con alrededor de 50 megavatios (MW) de energía limpia renovable y entrará en operación para el segundo trimestre del 2022 aproximadamente.

Por medio del MEER, en las últimas dos décadas de avances tecnológicos se ha creado el “Atlas Eólico del Ecuador”, el documento fue elaborado por medio de un mapeo satelital y donde se permite conocer las principales zonas con alto potencial eólico para el aprovechamiento de este tipo de energía en el Ecuador. Esta importante información es un aporte para los sectores productivos tanto público como privado del país, esto con la finalidad de promover la inversión e investigación en el uso de energía eólica como fuente renovable, no contaminante (Párraga Palacios et al., 2019).

2.2.2 El Generador Eólico

El generador eólico o aerogenerador es un equipo que convierte la energía cinética proveniente del viento en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica, en base a ello podemos detallar las partes más importantes que conforman este sistema, siendo estas:

a) Componentes del Aerogenerador

Las partes de un aerogenerador la conforman los siguientes equipos:

- La torre o mástil.
- El sistema de orientación: este instalado al final de la torre.

- Un armario de enganche a la red eléctrica: esto en la parte superior de la torre.
- Una góndola: que es el armazón que cubre los dispositivos mecánicos y eléctricos del equipo y soporta las palas.
- Un eje del rotor: que se acopla a las palas y al interior de la góndola conformado por: un freno dinámico, un multiplicador mecánico, el generador eléctrico y el sistema de control y regulación, entre otros accesorios de complemento e indicado en la figura 05 adjunta.

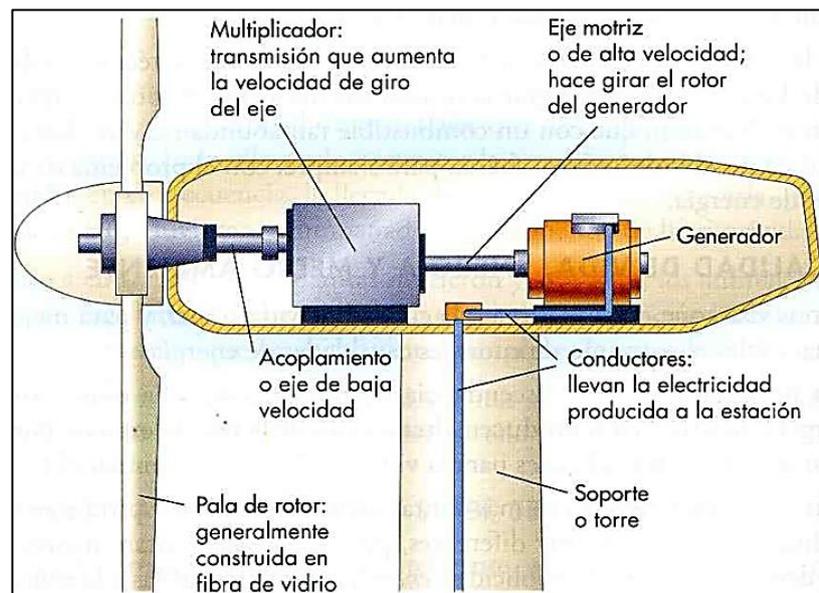


Figura 05: Generador Eólico y sus componentes
<https://www.google.com/search?q=generador+eolico&source>

b) Antecedentes del Aerogenerador

Los aerogeneradores para su aplicación se los clasifica en dos tipos:

- ON-SHORE: costa dentro que implica el montaje sobre terreno firme.
- OFF-SHORE: costa fuera que implica el montaje sobre la base de mares.

Sin embargo, para su operación y puesta en marcha los aerogeneradores se clasifican en dos tipos de diseños, siendo el más eficiente la turbina de ejes horizontales:

- HAWT: turbina de viento axial de ejes horizontales.
- VAWT: turbina de viento axial de ejes verticales.

La curva conocida de potencia del aerogenerador indica la relación entre la variable de entrada que es la velocidad del viento medido en (m/s) y la variable de salida que es la potencia activa medida en (vatios) tal como se indica tanto en la fórmula 01 adjunta, así como en la figura 06.

$$1. \quad P = k\rho r^2 v^3$$

Para ello dicha fórmula presenta las siguientes variables:

P: potencia eléctrica de salida real P_{real}

k: constante del generador, siendo $k = \frac{1}{2} \pi \eta$

η : eficiencia de la maquina

r: radio de la circunferencia que generan las aspas

v: velocidad promedio del aire en el entorno

Debemos recordar que el obtener la potencia eléctrica a la salida del eje en el rotor, se determina inicialmente con la potencia disponible P_d en el entorno, la misma que está contenida en el aire y que se obtuviera si el 100% del aire se convierte en electricidad.

Sin embargo, como en todo proceso existen perdidas P_{perd} y en la energía eólica la perdida mayor es la ralentización del aire que barren las aspas de los aerogeneradores, entonces el resultado es una potencia teórica $P_{teo} = P_d - P_{perd}$ que implica captar el 59% de la energía cinética del viento mediante la aplicación de la “Ley de Betz”, la misma que cuantifica la ralentización del aire.

Como sabemos la velocidad del aire es variable y para establecer la frecuencia (k) con la que se manifiesta la velocidad del viento en el entorno, es necesario tener una distribución de velocidades aplicando

procesos estadísticos como la Probabilidad de Weibull, detalles de ajuste en mínimos cuadrados y regresión lineal, para así obtener una velocidad promedio del entorno en análisis, dando lugar a la $P_{realista}$ potencia realista que es el resultado de $P_{realista} = 0.8 P_{teo}$ para finalmente aterrizar en un modelo comercial denominado P_{real} potencia real y que representa la fórmula 01.

c) La Curva del Aerogenerador

La ficha técnica del aerogenerador de viento muestra las características técnicas que se usan para el modelamiento del dispositivo y obtener los resultados adecuados, gestionando el análisis del caso que permitan determinar los resultados esperados.

En la figura 06 podemos observar las curvas de potencia disponibles y que de acuerdo con el color podemos identificarlas como:

- Potencia disponible P_d : curva color rojo
- Potencia máxima teórica P_{teo} : curva color azul
- Potencia realista $P_{realista}$: curva color amarillo-verde
- Potencia real P_{real} del aerogenerador: curva color verde y la fórmula de potencia máxima indicada allí.

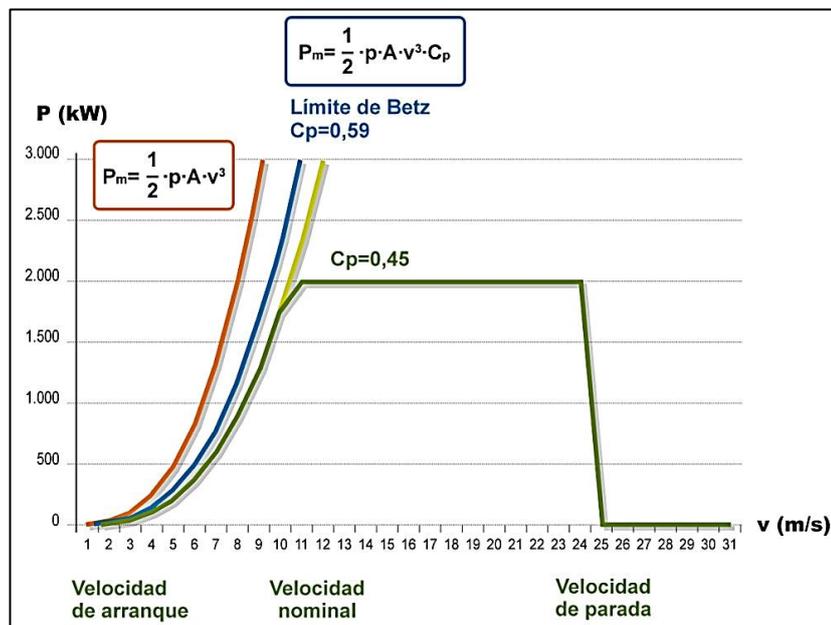


Figura 06. Curva de potencia de un Aerogenerador
Fuente: <https://cuadernosdederechoparaingenieros.com/la-energia-eolica/>

Existen tres factores principales que determinan la potencia generada por una turbina eólica de forma directa y que permiten tener una base sustentable de ello:

- **La Velocidad del viento:** esta determina en gran medida la cantidad de electricidad generada por una turbina, pues a mayor velocidad del viento se genera más energía ya que las palas giran más rápido, es decir una rotación más rápida se traduce en más potencia mecánica y más energía eléctrica convertida por el generador eólico.

Las turbinas están diseñadas para funcionar dentro de un rango específico de velocidades del viento, cuyos límites del rango indicadas en la figura 07 se conocen como *velocidad de entrada* (punto en el que el aerogenerador es capaz de generar energía donde las velocidades de conexión y nominal alcanzan la potencia máxima y la potencia aumenta cúbicamente con la velocidad del viento) y *velocidad de salida* (es la velocidad de desconexión en el que la turbina debe apagarse para evitar daños en el equipo).

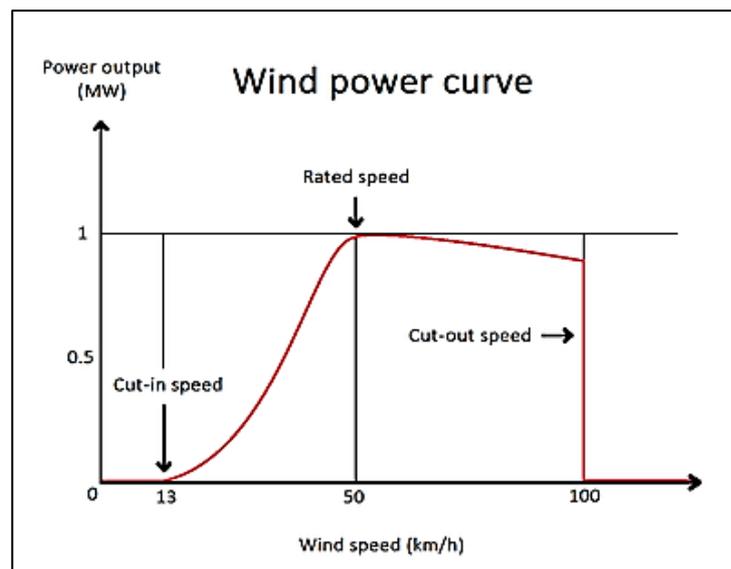


Figura 07. Curva de potencia de una turbina vs velocidad del viento
Fuente: https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php

- **La Densidad del aire:** esta influye en relación con utilizar la variación del viento cuando las palas tienen una altura determinada. La potencia está relacionada con la densidad del aire local, que es una función de la altitud, la presión y la temperatura. El aire denso ejerce más presión sobre los rotores, lo que se traduce en una mayor potencia.

- **El Diseño de la turbina:** Los aerogeneradores se diseñan para maximizar el radio de las palas del rotor para maximizar la potencia. Las palas más grandes permiten a la turbina capturar más energía cinética del viento al mover más aire a través de los rotores. Sin embargo, las palas más grandes requieren más espacio y mayores velocidades del viento para funcionar. Por regla general, las turbinas están separadas cuatro veces el diámetro del rotor. Esta distancia es necesaria para evitar las interferencias entre las turbinas, que reducen la potencia. La distancia relativa entre los aerogeneradores es visible

2.3. LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar es la producida por la luz y obtenida por el aprovechamiento de la radiación tipo electromagnética proveniente del Sol y es de carácter limpio e inagotable, dicha fuente es captada para generar energía fotovoltaica o concentrada para utilizarla en sistemas de calefacción.

2.3.1 La energía solar en el Ecuador

La ubicación del Ecuador, lo convierte en una localidad privilegiada en lo que respecta a recurso energético fotovoltaico. Esto es debido a estar sobre la línea ecuatorial, el ángulo de incidencia de los rayos solares es directamente perpendicular a la superficie, con 12 horas de sol durante todo el año, en otras localidades del planeta el ángulo de incidencia de los fotoelectrones varía de acuerdo con la temporalidad del año, esto se traduce en estaciones con mayor y menor potencial energético.

Desde el año 2008, Ecuador posee el Atlas de radiación Solar, el cual fue implementado por la Corporación para la Investigación Energética, donde existen datos que son georreferenciados sobre los tipos de radiación, el documento presenta valores para la radiación global, radiación difusa y radiación directa en el Ecuador continental, sin embargo, en el año 2019 se presenta una actualización al mismo en cuanto a valores de irradiación solar donde se utiliza datos de un año típico meteorológico (TMY) del conocido Laboratorio de Energías

Renovables de los Estados Unidos de América (NREL). La base de datos utilizada fue validada estadísticamente al compararla con datos medidos por estaciones meteorológicas en el Ecuador (**Anexo-02**), lo que constituye una importante herramienta para la investigación y desarrollo de proyectos en materia de energía solar (CIE, 2020).

Según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, la energía solar se aprovecha en varios puntos del territorio nacional:

- I. El proyecto Santa Rosa (Loja), planta fotovoltaica de 3MW genera 4.700.268 KWh al año cuenta con 3.880 paneles solares indicados en la figura 08, evitando emitir al ambiente 2.800Tn de CO₂.



Figura 08: Granja solar Santa Rosa
<https://bascorporation.com/proyecto-santa-rosa-ecuador>

- II. En el cantón Pimampiro (Imbabura), existe el primer huerto fotovoltaico del Ecuador. La generadora produce energía eléctrica y aportará a la red convencional de electricidad con 28 MW mensuales, la misma incluyen 4.160 paneles solares fotovoltaicos con una vida útil de alrededor de 25 años, sin banco de baterías.
- III. En el mes de diciembre de 2020 se dio paso a la aprobación del proyecto de energía fotovoltaica “El Aromo” a ubicarse en la provincia de Manabí. La empresa española Solar pack es la contratista, el proyecto va a ocupar 2,9 km² de terreno, la potencia instalada es de 258 megavatios (MW), la proyección indica que la producción actual aumenta 27 MW.

- IV. En junio del 2021 arranco el proyecto solar fotovoltaico Conolophus en las Galápagos, el proyecto busca generar alrededor de 14,8 MW en energía fotovoltaica, el sistema se complementa con 40,9 MWh de almacenamiento por medio de una bancada de baterías, el sistema implementado va a sustituir la utilización de combustible de origen fósil en las islas Baltra y especialmente en Santa Cruz.
- V. En Chanduy (Santa Elena), el banano orgánico producido en la finca Don Polo se desarrolla a una alta irradiación solar y mediante energía fotovoltaica de 413 KW que generan 780 paneles solares ocupando 3.000 m² de terreno.

Finalmente existen varios proyectos individuales que el sector industrial fomentan para reducir los costos energéticos y la huella de carbono, tal es el caso del Grupo KFC Ecuador y su grupo Solar Team que en el 2023 puso en funcionamiento una planta solar de 1,5 MW (conformada por 2500 paneles solares) para suplir el 90% de la demanda energética de 13 locales de comida rápida de la cadena ubicados en el distrito metropolitana de Quito sector el Inga, todo ello mediante una inversión de USD 4 millones de dólares y que se muestra en la figura 09 adjunta.



Figura 09: Proyecto solar Unidades educativas
<https://generarenovables.com/proyecto-fotovoltaico-sector-academico/>

2.3.2 Radiación Solar

La teoría indica que es la energía emitida por el astro sol en forma de fotoelectrones, impactando en todas direcciones al globo terráqueo desde la atmosfera hasta la superficie, puede atravesar el espacio interplanetario hasta llegar a la tierra. Se mide en superficie horizontal, por medio de un dispositivo llamado piranómetro o sensores para dicha aplicación, el sensor se lo instala orientado al sur y libre de sombras u objetos. Para efectos de cálculo se mide en (W/m²).

La energía proveniente del sol se propaga en forma de radiación y se la puede captar de forma directa o indirecta y en nuestro caso los sistemas fotovoltaicos utilizan la radiación directa, por ello Ecuador al ubicarse sobre la línea ecuatorial tiene ventajas por los altos niveles de radiación solar y así ampliar el uso de instalaciones fotovoltaicas.

- **Tipos de radiación solar**

Cuando los rayos del sol traspasan la atmosfera estos se diferencian de acuerdo con los tipos de radiación, indicados en la figura 10:

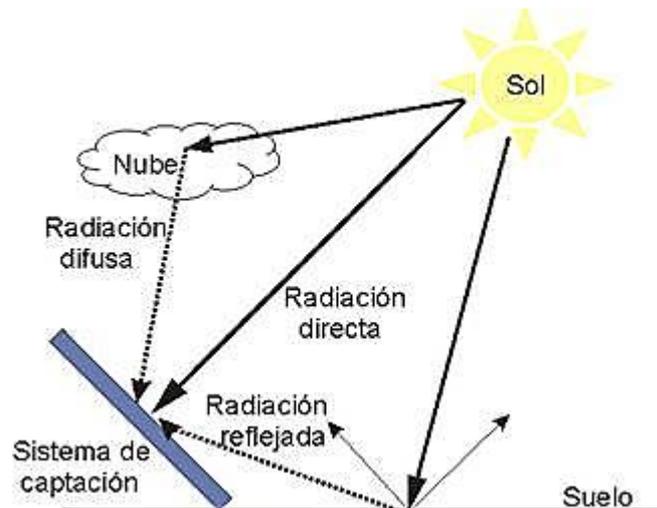


Figura 10; Radiación global – Arquitectura bioclimática
<https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

- a. **Radiación Directa (DNI):** Procede directamente del sol y atraviesa la atmosfera sin alterar la dirección, siendo la que origina sombra en los objetos.

- b. **Radiación Difusa (DHI):** Es la que proviene de la atmósfera por dispersión y reflejada por diferentes agentes que no producen sombra en objetos interpuestos.
- c. **Radiación Reflejada (IR):** Proviene por rebote en la superficie terrestre y es dependiente del coeficiente de reflexión junto con el albedo que en realidad es una superficie, las superficies verticales perpendicular a la terrestre son las que reciben este tipo de radiación.
- d. **Radiación Global (GHI):** Se define como propagación directa total y es correspondiente a la suma de las radiaciones: directa y difusa, complementada por el ángulo de inclinación del panel solar θ y definida en la ecuación 2.

2. **$GHI=DHI+DNI \times \cos(\theta)$**

Hay que destacar que la luz es la radiación visible al ojo humano con una longitud de onda (λ) con un rango de 400 a 730 nm, mientras que la radiación con λ inferior a medidas de 400 nm se denomina tipo ultravioleta, mientras que la de longitud de onda mayor 730 nm, se la llama infrarroja.

2.3.3 Tipos de paneles solares

Actualmente existen tres tipos de paneles solares que son utilizados en el ámbito comercial, siendo estos:

- **Los paneles solares tipo fotovoltaicos:** que generan energía eléctrica para todas las necesidades de la carga o lugar de trabajo.
- **Los paneles solares tipo térmicos:** son aquellos que se instalan en casas donde la recepción solar directa es para calentar agua de uso doméstico.
- **Los paneles solares termodinámicos:** que absorben calor y vaporizan el gas refrigerante que circula, para luego presurizarse y llegar a un intercambiador de calor que permite calentar agua.

En nuestro caso los paneles solares fotovoltaicos indicados en la figura 11 adjunta, permiten convertir la luz solar captada en energía eléctrica

mediante la aplicación de tecnologías enfocadas en el efecto de la fotoelectricidad, lo que quiere decir cuando la irradiación del sol impacta de forma perpendicular sobre una de las caras de la célula de silicio cristalino esta va a producir una diferencia de potencial entre las dos caras, la frontal y posterior, esta característica permite que los electrones se carguen de energía y se puedan mover de un lugar a otro lugar, esta interacción produce una corriente eléctrica.

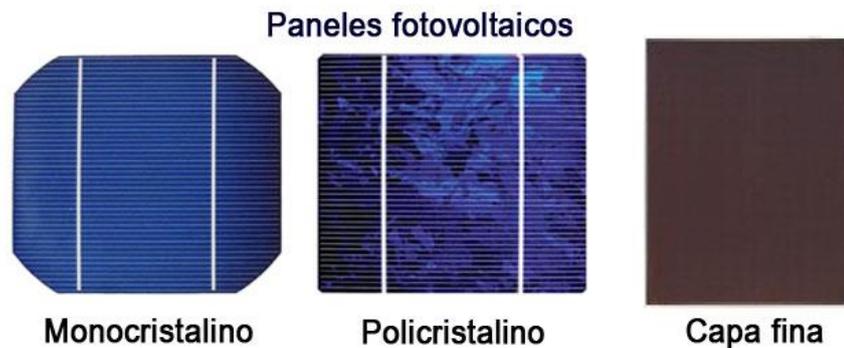


Figura 11: Tipos de Paneles solares fotovoltaicos
<https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>

- a. **Paneles monocristalinos de células de silicio:** Este tipo de células de silicio monocristalino (mono-Si), son bastante fáciles de identificar por su coloración oscura y el aspecto uniforme, que se origina por la alta pureza de silicio cristalino.
- b. **Paneles policristalinos de células de silicio:** en este tipo de células solares se diferencia de los tipos monocristalinos primero por su método de fabricación, al no utilizar el método Czochralski, por el contrario, el silicio de alta pureza en estado bruto se funde en cubos por medio de moldes cuadrados, luego continúa el proceso de enfriado y se corta en láminas de forma cuadrada.
- c. **Paneles solares fotovoltaicos de capa fina:** en los paneles se deposita en una base varias capas de material fotovoltaico, de acuerdo con el material utilizado se encuentran paneles conocidos de capa fina fabricados en silicio amorfo, o de telurio de cadmio, también se pueden fabricar con materiales como el galio, indio o selenio, otro tipo de tecnología de células orgánicas se empiezan a comercializar como se muestra en la figura 11.

La integración fotovoltaica en edificios hace que nuevas estructuras sean amigables con el ambiente dejando de utilizar materiales convencionales, paneles solares o turbinas eólicas residenciales conocidas como de baja potencia aprovechan la energía limpia tal como se observa en la figura 12. Sin embargo, las edificaciones y viviendas se pueden implementar cuando cumplan con las características:

- Conocer la demanda eléctrica de la zona, para ello se debe revisar las cargas y el consumo de energía mensual de estos.
- Mediante la ayuda del software HOMER se dimensionan los equipos necesarios para cubrir las demandas básicas de la comuna o predio, esto implica incluir: paneles solares, baterías, inversor, regulador, etc., permitiendo optimizar los recursos.

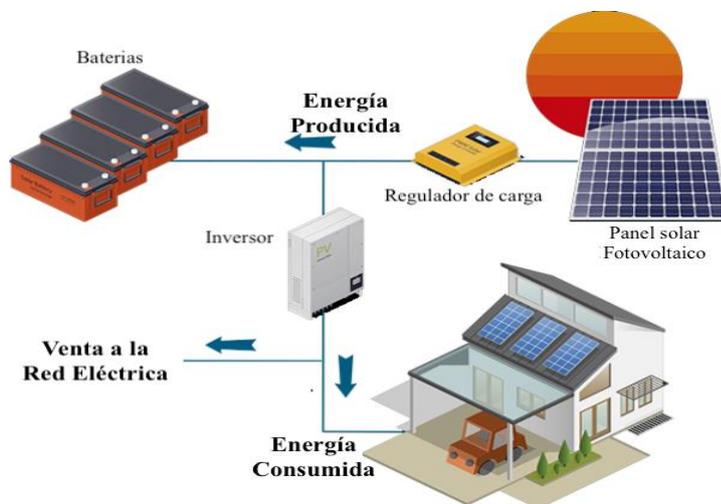


Figura 12: Esquema de un sistema de energía solar
Fuente: [www.ecuatran.com/ blog de energía fotovoltaica](http://www.ecuatran.com/blog-de-energía-fotovoltaica)

- Instalar los paneles solares en un ángulo de inclinación de entre 5° a 15° para que el agua o algún objeto no se quede en la base obstruyendo el paso del Sol (Ecuatran, 2019).

2.3.4 La Curva del panel solar

La curva característica de la célula solar o del panel fotovoltaico, es conocida como curva de corriente-voltaje I_m vs V_m , constituye los valores de diferencia de potencial y corriente proporcionados de forma experimental, sometido a ciertas condiciones tales como: constantes

de insolación y de la temperatura, además cuando se varia la resistencia variable conectada externamente desde cero hasta el infinito, con estos accesorios se puede medir varios valores de tensión y corriente, al interpolar todos los datos se forma la curva característica indicada en la gráfica 13.

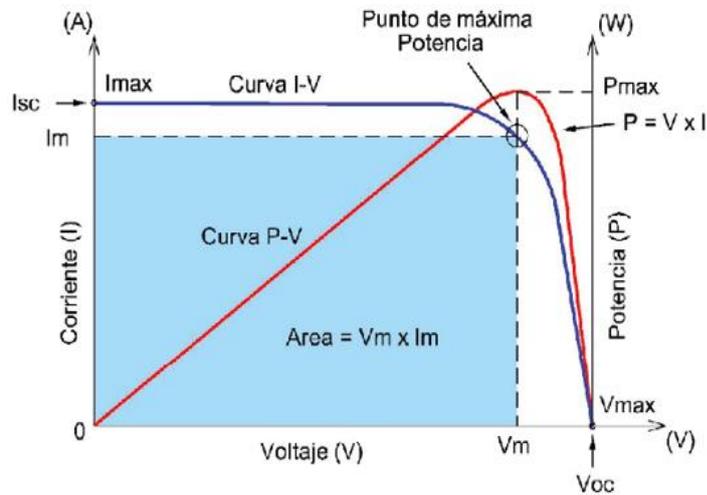


Figura 13: Esquema de curva característica I vs V
<https://repository.usta.edu.co/2047>

Existen dos técnicas para calcular el rendimiento de panel solar fotovoltaico: la primera es la conversión de energía y el segundo es el factor de forma. En los dos casos es preciso identificar el punto de su máxima potencia (P_{mp}), donde la célula o el panel puede generar la máxima potencia, el valor se logra cuando el voltaje (V_{mp}) y por otro lado la corriente (I_{mp}) llegan a sus valores de máxima potencia de forma paralela y estipulada en la fórmula 03 adjunta.

$$3. \quad P_{mp} = V_{mp} I_{mp}$$

Ahora para el **método de conversión de energía**, la eficiencia η corresponde al % de la energía eléctrica que es capaz de generar (P_{mp}) en relación con toda la cantidad de energía de tipo lumínica que se recibe desde el astro sol (E), en este caso cuando el panel fotovoltaico se encuentra en conexión a un circuito eléctrico. Se puede determinar mediante la ecuación 04 adjunta:

4.
$$\eta = \frac{P_{mp}}{EA_c}$$

Donde:

E : Es el nivel de radiación que se tiene sobre la superficie del panel (W/m^2), bajo condiciones de prueba estándar.

A_c : Es la superficie del panel solar fotovoltaico (m^2)

Luego la eficiencia de un panel solar por el **método de factor de forma** relaciona el punto de máxima potencia (P_{mp}), el cual se divide para el producto entre el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) multiplicado por la corriente de cortocircuito (I_{sc}), tal como se indica en la siguiente ecuación.

5.
$$\eta = \frac{P_{mp}}{V_{oc}I_{sc}}$$

En la gráfica se presenta un punto clave que permite que el área medida en el rectángulo alcance la mayor medida posible, siendo este punto el de máxima potencia (P_{mp}).

El conocido Factor de Forma (FF) se calcula como el cociente del área de la figura rectángulo que se define por el punto de máxima potencia (P_{mp}) y el rectángulo exterior a la curva, caracterizado por los lados conformados por los puntos extremos denominados: V_{oc} y I_{sc} .

Al momento se han creado exploraciones para identificar los factores que reducen el funcionamiento de los dispositivos fotovoltaicos, con el fin de atenuar esos efectos y buscar mejoras importantes en términos de eficiencia en estos sistemas.

Estos factores negativos se clasifican en propios o externos según el tipo de ambiente donde opera o del entorno que se aplican., estos son: transiciones climáticas, temperatura elevada en la célula solar y el tipo de medio ambiente, entre otros efectos menores que sumados reducen severamente el rendimiento de los paneles solares.

- a) **Factores propios del panel:** que comprenden la estructura interna del panel y se refleja en elevadas temperaturas de operación, reflexión y suciedad.
- b) **Temperatura de operación del panel:** los módulos solares tienden a absorber alrededor del 80% de la radiación solar global que recibe la superficie, sin embargo, un alto porcentaje de esta irradiancia se cede para lograr ser convertida en energía y el exceso se convierte en energía calorífica aumentando la temperatura del módulo fotovoltaico.
- c) **Efecto de la reflexión y suciedad en la superficie del panel:** la radiación global que llega en las células solares del módulo fotovoltaico es menor a las que impactan en la superficie de este, debido a la reflexión de la luz y la suciedad que impide que ingresen los rayos solares.

2.4. COMPONENTES DEL SISTEMA HIBRIDO RENOVABLE

Los componentes del sistema híbrido renovable que se gestionará en el presente proyecto de tesis tendrá como base principal los siguientes equipos a detallar con sus respectivas características técnicas:

2.4.1. Bancos de baterías solares

Los acumuladores para energía solar o bancadas de baterías se encargan del almacenamiento energético de forma química, para posteriormente generar energía eléctrica independientemente de la generación de las fuentes renovables, estas están conformadas en su interior por dos electrodos sumergidos dentro de un electrolito, en el interior se producen reacciones químicas por los procesos de carga y su descarga.

La capacidad de una batería se define como la cantidad de electricidad que puede extraerse durante una descarga completa cuando está completamente cargada. Esta capacidad se mide en amperios/hora (Ah) durante un tiempo de descarga específico.

Cuando se menciona la capacidad de una batería como "C20", se está indicando la cantidad de carga que se puede extraer en un periodo de 20 horas a una temperatura de 20°C, hasta que la tensión entre sus bornes alcance 1,8V por

celda. En otras palabras, este valor revela la eficiencia de la batería durante un tiempo prolongado. Si el tiempo de descarga es breve, la capacidad de la batería disminuye; en cambio, si el tiempo de descarga se extiende, la capacidad de la batería aumenta.

Por ejemplo, un acumulador con la etiqueta "C100-250Ah" significa que la batería suministra 250 amperios durante un periodo continuo de 100 horas, ahora en términos de la estructura interna de una batería, una celda electroquímica, también conocida como celda voltaica o vaso, es una unidad que contiene un electrolito líquido e incluso pueden tener hasta dos electrolitos.

Existen varios tipos de baterías solares, y su clasificación depende del material con el que han sido fabricadas, algunos ejemplos incluyen las baterías de gel diseñadas para placas solares y las baterías de litio específicamente destinadas a sistemas de energía solar, para ello cada tipo de batería tiene sus propias características y ventajas según las necesidades específicas del usuario:

a) Baterías monoblock para placas solares: este tipo de baterías presenta de 3 a 6 celdas internas de 2V cada una, las cuales están interconectadas para formar un bloque único de 6V o 12V, dependiendo del modelo, siendo las celdas de estas baterías monoblock fabricadas con plomo y electrolito, permitiendo almacenar como generar energía a través de reacciones redox.

Estas baterías son especialmente adecuadas para pequeñas instalaciones, como sistemas de iluminación, ciertos equipos y computadoras, pero se destacan por ser opciones más asequibles en comparación con otros modelos. En función de estas características, se pueden identificar varios tipos de baterías monoblock:

b) Baterías monoblock de plomo ácido abiertas: son las más económicas, con un promedio de 400 ciclos completos de carga y descarga, pero una vida útil que varía entre 2 y 3 años, dependiendo del modelo. Además, tienen la capacidad de soportar profundidades de descarga de hasta el 20%.

c) Baterías monoblock ciclo profundo: similar a las de ácido plomo, pero reforzadas para resistir profundidades de descarga de hasta el 80%, con ello su vida útil suele extenderse entre 7 y 8 años.

- d) **Baterías monoblock AGM:** también conocidas como baterías AGM para placas solares, estas baterías son selladas y no requieren mantenimiento. Las mejores entre ellas pueden alcanzar hasta 7000 ciclos de carga.
- e) **Baterías monoblock tipo Gel:** igualmente diseñadas para placas solares, estas baterías de gel se asemejan a las AGM, pero muestran una mejor respuesta al voltaje durante la descarga, tal como se ilustra en la figura 14.
- f) **Baterías monoblock tipo ion-litio:** consideradas las mejores para placas solares, estas baterías de litio tienen la capacidad de soportar descargas de hasta el 80% sin sufrir daños.



Figura 14: Batería de Gel AOKly para sistemas fotovoltaicos
<https://www.renova-energia.com/categoria-producto/productos-aokly/>

2.4.2. Seguidor de punto de potencia máxima MPPT

Un regulador o controlador solar MPPT (Maximum Power Point Tracking) es un dispositivo electrónico de alta frecuencia DC/DC que optimiza el flujo eléctrico entre el banco solar (paneles fotovoltaicos) y el banco de baterías en búsqueda del punto de máxima potencia. Su función principal radica en transformar la salida de corriente continua (CC) de mayor voltaje proveniente de los paneles solares a la tensión necesaria para cargar las baterías. El know-how incorporado en los reguladores solares MPPT es significativamente más avanzado en comparación con otros tipos de reguladores, como los PWM (modulación por ancho de pulsos). Aunque esta complejidad puede resultar en costos más elevados, se compensa con una mayor eficiencia y una menor

carga para las infraestructuras solares, como se destaca en la figura 15. Este enfoque más sofisticado permite aprovechar al máximo la energía disponible, optimizando así el rendimiento general del sistema solar.



Figura 15: Regulador Solar MPPT fotovoltaico
<https://www.generatuluz.com>

El seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) es un proceso de rastreo electrónico altamente preciso. El regulador solar evalúa la salida de voltaje del panel (ya sea de un sistema fotovoltaico PV o eólico) y la compara con el voltaje de la batería. Posteriormente, selecciona la potencia óptima que el panel puede suministrar para cargar la batería. Con esta información, ajusta de manera óptima la tensión de los paneles para obtener el máximo amperaje en la batería. Según se ilustra en la figura 16 adjunta, los reguladores MPPT operan mediante una lógica eficiente a elevadas frecuencias de corriente (A):

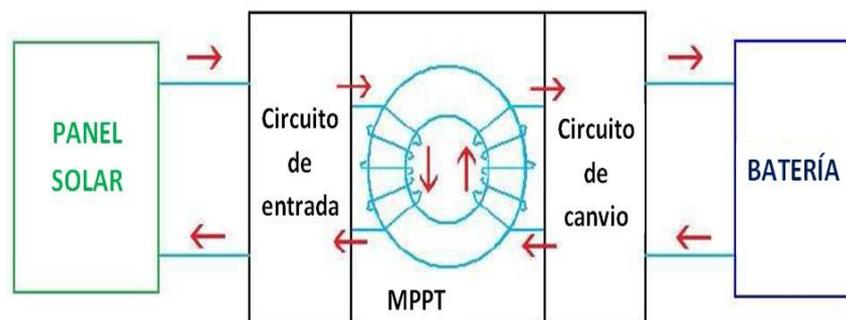


Figura 16: Esquema interno del regulador MPPT
<https://www.generatuluz.com>

1. Transforman la entrada de corriente continua (CC) proveniente de los paneles solares a corriente alterna (CA) de alta frecuencia.
2. Ajustan la tensión de la corriente alterna (CA) para que coincida exactamente con la tensión de la batería.

3. Reconvierten la corriente alterna (CA) a continua (CC) para la batería, generalmente en un rango de frecuencias de 20 a 80 kHz.

Este proceso dinámico y eficiente garantiza una conversión óptima de energía, maximizando la eficiencia del sistema y optimizando la carga de la batería. Por lo general los reguladores solares MPPT actuales logran una eficiencia del 93 al 97% en la conversión y se obtienen ganancias de potencia del 20 al 45% en invierno versus del 10 al 15% en verano. Finalmente, la ganancia varía radicalmente según el clima, la temperatura del dispositivo, la condición de carga de la batería y otros factores.

Las funciones básicas que poseen los controladores MPPT son las siguientes:

- Selección de datos en pantalla en tiempo real
- Optimización en el cometido de la batería
- Software para la programación de la carga de batería
- Salidas de carga
- Supervisión ultra rápida del punto máximo de potencia

2.4.3. El Inversor

El inversor, dispositivo que convierte la corriente continua en alterna, puede ser trifásica, monofásica y además bidireccional, con la función de un convertidor DC/AC; que no solo convierte la corriente, sino que también controla el valor (RMS) de la tensión de salida además de modularla, ya que la presencia de armónicos reduce la eficiencia de la carga y de ella misma.



Figura 17: Inversor solar

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>

Además, el inversor como se visualiza en la figura 17 se encarga de almacenar y descargar la energía obtenida de sus placas solares hacia las baterías, en base a ello existen diferentes tipos de inversores de acuerdo con su aplicación, entre las que podemos encontrar están los siguientes:

- Sistemas autónomos
- Interconectados
 - Centrales
 - Micro
- Híbridos

Los inversores, por lo general, presentan una eficiencia a plena carga que oscila entre el 90% y el 94% en sistemas de baja tensión de entrada. Aunque todos desempeñan la misma función básica, se pueden clasificar en tres tipos según su modo de operación:

- 1. OnGrid – Inversores de Conexión a Red:** estos inversores, también conocidos como instalaciones conectadas a la red, transforman la corriente eléctrica continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC). Este sistema está diseñado para interactuar directamente con la red eléctrica.
- 2. Micro inversores:** estos dispositivos convierten la corriente continua (DC) de los paneles solares en corriente alterna (AC). Por lo general, se combinan varios micro inversores para alimentar la red eléctrica, instalándose uno por cada panel solar. Esto crea independencia entre los paneles, permitiendo su monitoreo individual.
- 3. OffGrid:** los inversores de aislada, también llamados OffGrid, se emplean en instalaciones aisladas o conocidas como sin conexión a la red eléctrica. Tienen la capacidad de convertir la corriente continua (DC) proveniente de las baterías en corriente alterna (AC) de 110V/220V para alimentar los consumos de la vivienda. En este caso, generan una onda modificada o senoidal en la salida

2.5 LOS SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES

Un sistema híbrido es el sistema que combina en una sola disposición varias fuentes energéticas, todas conectadas a una red de distribución. Estos sistemas se componen generalmente por fuentes de recursos tanto: renovables, combustible fósil, complementados por sistemas de control del proceso e incluso baterías para almacenar la energía producida por las fuentes de generación, tal como se muestra en el esquema adjunto en la figura 18.

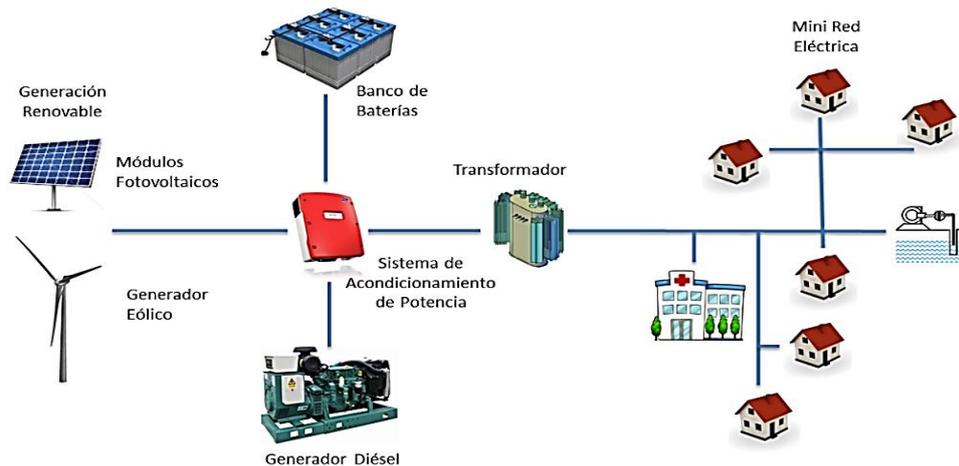


Figura 18. Esquema de un sistema híbrido de energía
Fuente: https://twitter.com/el_bid/status/665261945923203072

Para tener una idea clara de estos sistemas híbridos, podemos observar la figura 19, la cual muestra la **curva de carga residencial típica** de un poblado rural de cualquier país de Latinoamérica o del Caribe, lo cual permite establecer los tipos de energías consumidas de acuerdo con las cargas.

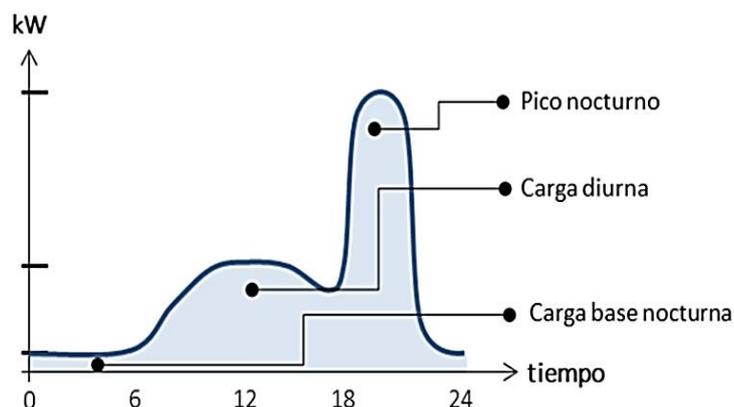


Figura 19: Curva de carga típica de demanda
Fuente: (Chaux Olaya, Porras, & Molina, 2019)

En la curva mostrada se observan tres niveles de demanda estándar, que permiten clasificar las cargas mediante las siguientes expresiones:

- a) Carga con base nocturna: conformada por iluminación pública y refrigeración.
- b) Carga diurna: conformada por tomacorrientes y refrigeración.
- c) Carga con pico nocturno: conformada por iluminación en general, refrigeración y tomacorrientes.

En poblados pequeños, un generador basado en combustibles fósiles generalmente abarca únicamente el pico nocturno y opera durante 3 a 4 horas diarias. Por otro lado, en localidades más grandes, la generación fósil suele extenderse alrededor de 16 horas, abarcando tanto la carga diurna como el pico nocturno. Considerando el sistema híbrido fósil-fotovoltaico y haciendo referencia a la figura 18 previamente mencionada, la energía renovable proveniente de la fuente fotovoltaica sustituirá la generación fósil durante el día, como se ilustra en la figura 20. Este cambio reduce significativamente la dependencia de los combustibles fósiles o, alternativamente, permite su combinación para ampliar las horas de suministro.

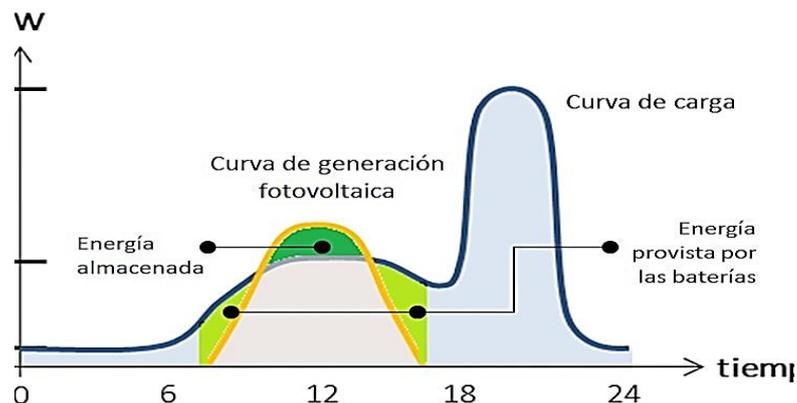


Figura 20: Curva de carga típica con energía combinada
Fuente: (Chaux Olaya et al., 2019)

En la proyección de estos sistemas híbridos comúnmente, es necesario adaptar el sistema renovable a una instalación de generación fósil ya existente, en estos casos, existen procesos adicionales a considerar, que incluyen el estado actual del generador fósil y establecer un sistema de control

que permitan su funcionamiento en paralelo con los sistemas de energía renovable. (Alarcón, 2015).

La grafica 20 permite interpretar en que tramos de la curva se puede echar mano de las energías renovables, para incluso sostener demandas pico, evitando así utilizar energías a base de combustible fósil.

2.6 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

Previo a la implementación de proyectos técnicos, es importante aterrizar las ideas y analizar la funcionalidad de este, utilizando herramientas tecnológicas tales como: Matlab, Simulink, Homer, entre otros que permitan no solo digitalizar un proceso, sino además simular el mismo garantizando la sostenibilidad del proyecto en base a los recursos que posea y sobre todo establecer el dimensionamiento adecuado de los equipos.

Para ello en la presente unidad se dará a conocer la base teórica necesaria sobre las herramientas tecnológicas a utilizar en el proyecto, de tal forma que en las siguientes unidades se tenga una adecuada comprensión de estos.

2.6.1 Software MATLAB

Proviene de la abreviatura de MATrix LABoratory, que significa "laboratorio de matrices". Es un sistema de cómputo numérico que proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) con su propio lenguaje de programación, conocido como lenguaje M. Este sistema está disponible para diversas plataformas, incluyendo Unix, Windows, macOS y GNU/Linux.

Entre las funciones fundamentales de MATLAB se incluyen la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y dispositivos hardware. El paquete MATLAB ofrece dos herramientas que amplían sus capacidades: SIMULINK, una plataforma de simulación multidominio, y GUIDE, un editor de interfaces de

usuario (GUI), mejorar las capacidades mediante cajas de herramientas (toolboxes) y las de Simulink con paquetes de bloques (blocksets).

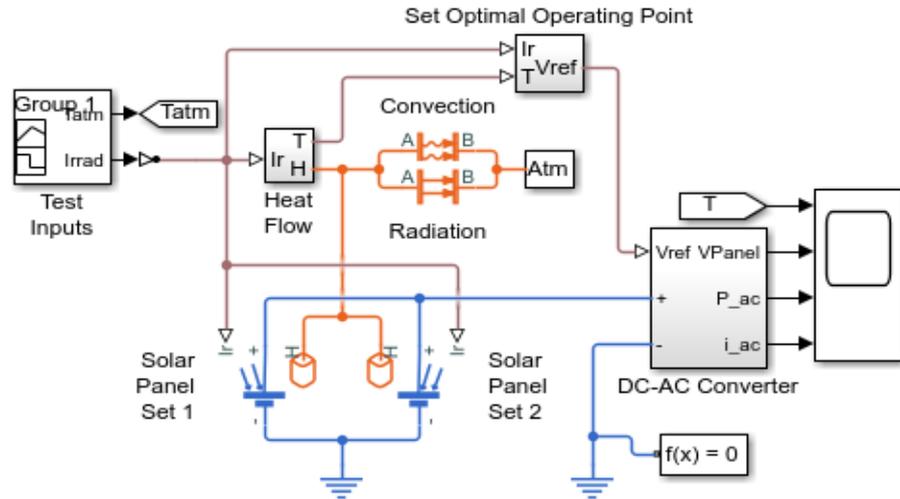
2.6.2 Software SIMULINK:

Desarrollado por MathWorks, SIMULINK fue presentado en el año 2002, y desde entonces ha experimentado numerosas actualizaciones de forma periódica. Este entorno de programación gráfica visual está diseñado para modelar, simular y analizar sistemas dinámicos multidominio. Se integra con el entorno de MATLAB, aprovechando la sinergia entre ambas plataformas.

Ampliamente utilizado en áreas como el control automático y el procesamiento de señales digitales, SIMULINK facilita la simulación multidominio y el diseño basado en modelos. Es una herramienta esencial para resolver problemas científicos e ingenieriles, brindando una plataforma robusta para el desarrollo y análisis de sistemas complejos.

Es relevante destacar que la plataforma MATLAB se orienta específicamente a la resolución de problemas en los campos científicos e ingenieriles. En este contexto, se adjuntan las figuras 21 y 22, que ejemplifican la activación en SIMULINK de plantas individuales de generación renovable, ya sea eólica o solar, en diversas condiciones. Estas imágenes serán fundamentales para los estudios futuros, donde, tras la programación pertinente, se llevarán a cabo simulaciones y pruebas detalladas, evaluando el comportamiento y analizando gráficas para obtener resultados concluyentes.

En la planta solar básica adjunta en la figura 21 se generan muestras de varios bloques de funciones que presenta SIMULINK de una gran variedad que posee y que permiten establecer funciones lógicas muy cercanas a los equipos reales, para con ello desarrollar análisis de las variables y así obtener conclusiones al respecto.



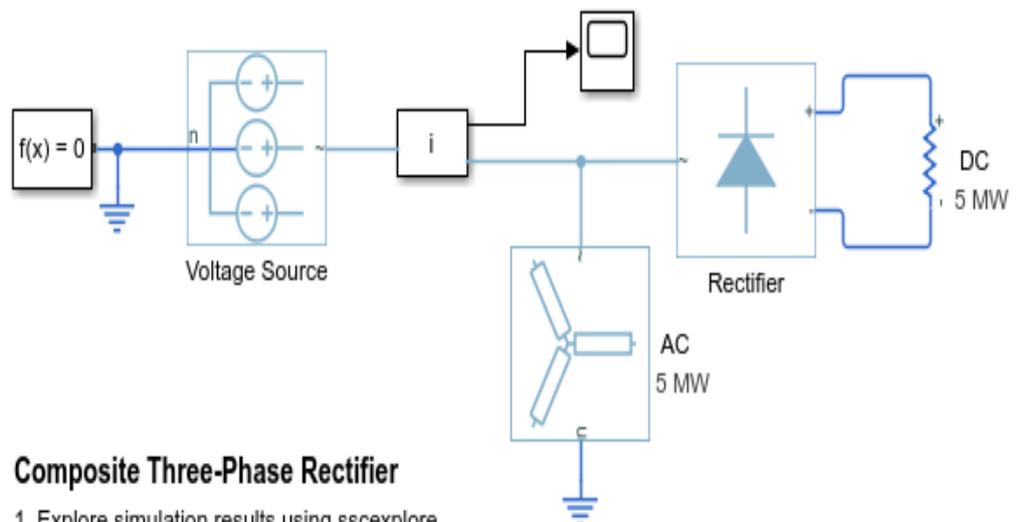
Photovoltaic Generator

1. Plot panel inputs and outputs (see code)
2. Plot voltage with conditions for maximum power (see code)
3. Explore simulation results using sscxplorer
4. Learn more about this example

Figura 21: Planta de generación fotovoltaica

Fuente: <https://es.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/photovoltaic-generator.html>

En la planta eólica básica adjunta en la figura 22 podemos observar muestras de varios bloques de funciones que presenta SIMULINK para esta aplicación y que permiten establecer funciones lógicas muy cercanas a los equipos reales, para con ello ampliar el análisis de las variables y obtener conclusiones importantes de cara al futuro.



Composite Three-Phase Rectifier

1. Explore simulation results using sscxplorer
2. Learn more about this example

Figura 22: Planta de generación eólica

Fuente: <https://es.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/composite-three-phase-rectifier.html>

2.6.3 SOFTWARE HOMER: (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources),

Es una herramienta que resulta muy útil al momento de diseñar proyectos en el área de energías renovables, pero orientadas a sistemas híbridos siendo un software adecuado para ello. Además, permite dimensionar los componentes que integran la Microred optimizando criterios económicos para una estrategia de gestión y despacho dada. La característica más destacada de este programa es su capacidad para simular la operación de un sistema mediante cálculos de balances de energía para cada una de las 8,760 horas del año. En cada hora, HOMER realiza una comparación entre la carga eléctrica y térmica y la capacidad del sistema para suministrar energía en ese periodo específico.

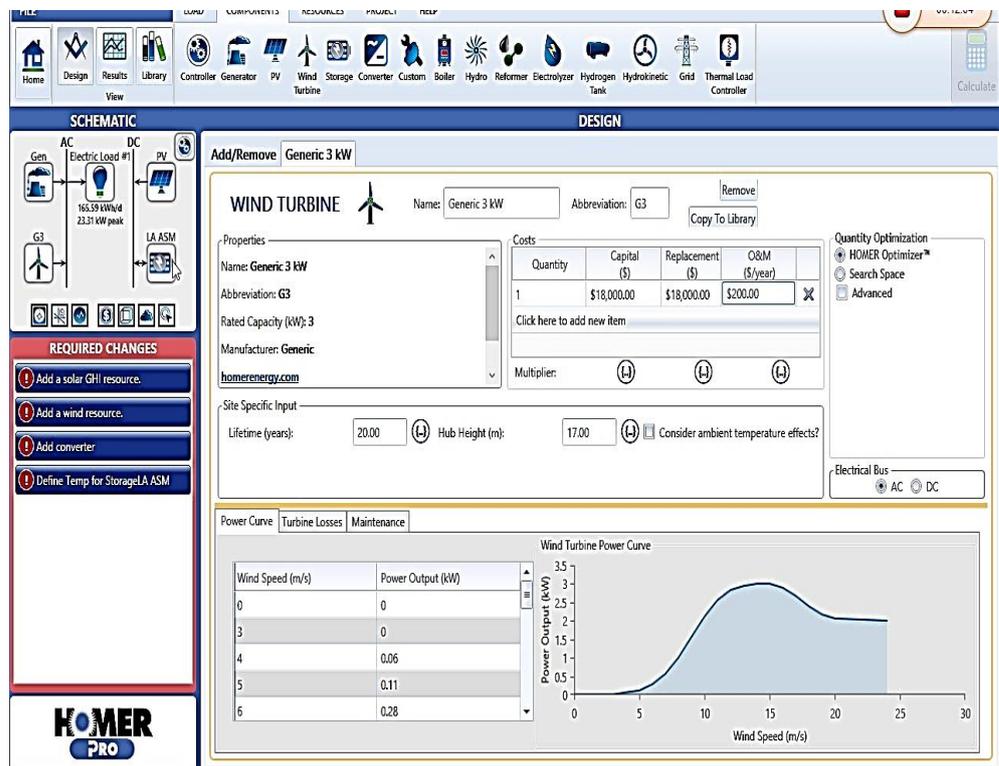


Figura 23: Pantalla de Homer pro en diseños eólicos

Fuente: EEE Homer Pro-Tutorial

En la figura 23 adjunta, podemos observar la plataforma de Homer donde se desarrolla el diagrama esquemático de la planta, así como el dimensionamiento de equipos y graficas de análisis de captación de energía eólica por parte de la turbina, lo cual permite establecer criterios de diseño para optimizar el proceso.

Podemos indicar que HOMER encuentra todas las combinaciones posibles de componentes de menor costo que logren satisfacer las cargas eléctricas y térmicas, es decir simula miles de configuraciones aptas para el sistema empleado y lo optimiza para reducir los costos de ciclos de vida, así como también genera resultados de análisis de sensibilidad para la mayoría de los datos ingresados.

CAPITULO 3

3.1 ANTECEDENTES

En el presente capítulo se detallan las bases teóricas y técnicas de soporte para el desarrollo del programa tanto en Matlab como en Simulink, lo que permitirá tener un entendimiento del software y su funcionamiento en cada sector del programa.

Además, se evaluarán los distintos bloques a utilizar en Simulink y su significado técnico que da lugar a la simulación del programa elaborado de forma integral.

Para ello se tiene previsto gestionar la explicación del programa en tres partes muy concretas, siendo estas las siguientes:

- a) Gestión del Sistema eólico de energía.
- b) Gestión del Sistema solar de energía
- c) Integración de los Sistemas de energía renovable

3.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA

3.2.1 Gestión del sistema eólico de energía

Para desarrollar la programación del sistema eólico es necesario detallar el proceso operacional del sistema y con ello las fórmulas seleccionadas con los respectivos bloques de Simulink utilizados, que permiten establecer el funcionamiento lógico del sistema eólico en el proyecto.

Para ello se detalla la estructura del programa para canalizar la generación de energía eólica, siendo esta la siguiente:

- I. Bloque 01: Almacenamiento de datos de información del viento.
- II. Bloque 02: Mascara que opera las fórmulas de perfiles y densidad del viento, las que aplicadas a la curva de potencia de la turbina genera potencia de salida.
- III. Bloque 03: Rectificador de eficiencia energética.
- IV. Bloque 04: Acumulador de energías renovables.

3.2.2 Estructura del programa para obtención de energía eólica.

La estructura de los diagramas de bloques que se generan en Simulink para esta parte del programa, responden a varias articulaciones de bloques que gestionan el enlace de las fórmulas con el proceso de simulación y que permiten establecer su sistema de funcionamiento, así como las respuestas al mismo mediante las variantes del caso que darán lugar a las conclusiones respectivas.

3.2.2.1 Bloque 01: Almacenamiento de información del viento.

El mencionado bloque llamado **H Wind** permite captar la información de 8760 datos referente a la velocidad del viento en formato Excel, la misma que gestionada desde el programa Homer y posteriormente almacenada en el workspace para su utilización en la programación desarrollada.

Importante hay que mencionar que el bloque 01 reside en la ventana SOURCES, incorporada en LIBRARY BROWSER, específicamente el bloque llamado SIMIN FROM WORKSPACE.

El bloque SIMIN indicado en la figura 24 está conformado por las frases: SIM (Simulink) mientras que IN (input), las mismas que agrupadas significan entradas hacia Simulink.

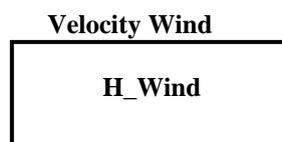


Figura 24: Bloque de almacenamiento de información viento

Fuente: MathWorks centro de ayuda

3.2.2.2 Bloque 02: Mascara de perfiles y densidad del viento

Este bloque adjunto en la figura 25 permite operar las fórmulas de perfiles y densidad del viento que aplicadas a la curva de potencia de la turbina eólica genera la potencia de salida, además incorpora la entrada etiquetada como Vel. Wind (velocidad del viento) y su salida de potencia etiquetada como Pout (KW), la misma que denota la potencia obtenida a la salida del aerogenerador.

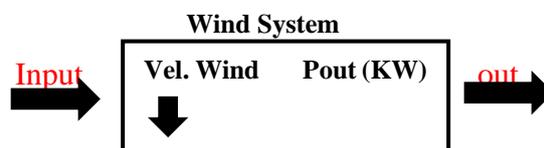


Figura 25: Bloque mascara del sistema de viento

Fuente: MathWorks centro de ayuda

En Simulink una máscara es una interfaz de usuario personalizada para un bloque pues encapsula un diagrama de bloques particular para utilizarlo como único bloque compactando otras instancias del programa.

Al interior de la máscara en la figura 25 está inmerso todo un entorno indicado en la figura 26, donde se detalla un diagrama de bloques de parámetros que

contienen las fórmulas que sintetizan el optimizar la velocidad del viento para obtener la mayor cantidad de energía eléctrica a la salida del aerogenerador, siendo estas las siguientes:

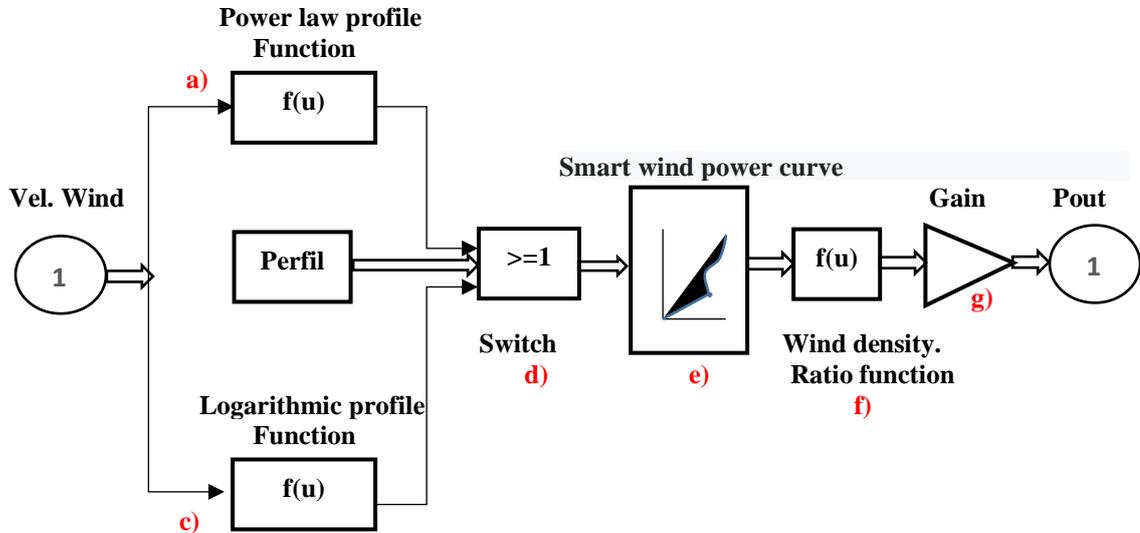


Figura 26: Bloques dentro de la máscara del sistema de viento

Fuente: El autor

Los bloques dentro de la máscara dan lugar al cálculo matemático de la potencia de salida del aerogenerador, mediante la aplicación de las siguientes formulas:

a) Función ley de potencias del perfil eólico (bloque superior f(u))

La potencia eólica disponible es proporcional al cubo de la velocidad del viento, por lo que un incremento de velocidad en una unidad representa un aumento sustancial en potencia, por ello la ley de potencias modela el perfil vertical del viento y es una relación entre las velocidades del viento a una altura y con respecto a otra, a través de la fórmula 6 adjunta.

$$6. \quad f(u) = u_r \left(\frac{h}{h_r}\right)^\alpha$$

De donde las variables de la formula se definen así:

f(u): velocidad del viento a la altura h (m/s)

h: Altura a una velocidad dada f(u) (m)

h_r : Altura de referencia a la velocidad u_r (m)

u_r : Velocidad del viento a la altura h_r (m/s)

α : Coeficiente que varía según la estabilidad de la atmosfera. (Estabilidad neutra $\alpha = 0.143$ equivalente a $1/7$).

b) Variación de la velocidad de viento con respecto a la altura

El viento sufre variaciones con respecto a la altura por el rozamiento con la superficie del globo terráqueo hasta que tenga una distancia límite, allí la velocidad no se ve afectada, esto se conoce con la definición de capa límite de velocidades figura 27. Esta variación con respecto a la altura dependerá de varios factores: la rugosidad del terreno, obstáculos cercanos, las estaciones del año, incluso la hora del día y todo ello sigue una ley exponencial.

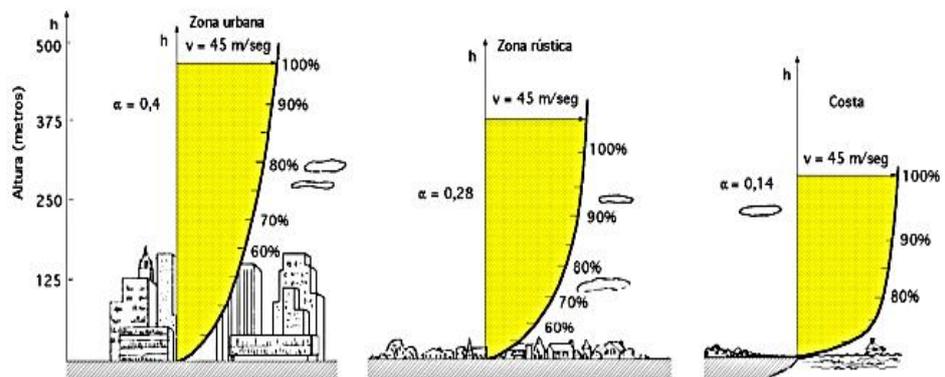


Figura 27: Perfiles de velocidad del viento

Fuente: Caracterización del viento según el emplazamiento

Un alcance a la fórmula 6 antes descrita es la Ley Exponencial de Hellmann, detallada en la fórmula 7 que permite extrapolar los datos a la altura donde trabaja el aerogenerador, es decir conocida la velocidad del viento a determinada altura, es viable calcular la velocidad correspondiente en otras alturas. Ahora acceder a la velocidad del viento a una altura h partiendo del conocimiento de una velocidad a 10 m de altura (ubicación del anemómetro) se obtiene la fórmula 7 adjunta.

$$7. \quad V_h = V_r \left(\frac{h}{h_r}\right)^\alpha = V_{10} \left(\frac{h}{10}\right)^\alpha$$

De donde las variables de la formula se definen de la siguiente forma:

V_h : Velocidad del viento a la altura h (m/s)

h : Altura a una velocidad dada (m)

h_r : Altura de referencia (m)

V_r : Velocidad del viento a una altura de referencia (m/s)

α : Exponente de Hellmann que varía con la rigurosidad del terreno y la estabilidad de la atmosfera. (Estabilidad neutra $\alpha= 0.143$).

Es importante indicar que a menor valor de α la velocidad se estabiliza en menor tiempo pues recordemos las velocidades límites de un aerogenerador:

- Cut in speed: donde la velocidad mínima $v = 3$ m/s (10 Km/h)
- Cut out speed: donde la velocidad máxima $v = 25$ m/s (90 Km/h)

A continuación, se detalla la Tabla 01 de valores del Exponente de Hellmann en función de la rigurosidad del terreno.

Ítem	Tipo de Terreno	Valor exponencial de Hellmann
1	Lugares llanos con hielo o hierva	$\alpha = 0.08 \rightarrow 0.12$
2	Lugares llanos (mar o costa)	$\alpha = 0.14$
3	Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0.13 \rightarrow 0.16$
4	Zonas turísticas	$\alpha = 0.2$
5	Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0.02 \rightarrow 0.26$
6	Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0.25 \rightarrow 0.4$

Tabla 01: Valores de exponente de Hellmann

Fuente: Valoración del viento como fuente de energía eólica

c) Función perfil logarítmico (bloque inferior $f(u)$)

En dinámica de fluidos, la constante de von Kármán es una constante adimensional involucrada en la ley logarítmica que describe la distribución de la velocidad longitudinal de un fluido en la dirección normal de la pared de un fluido turbulento cerca de un límite con una condición antideslizante.

La ecuación para tales perfiles de flujo de la capa límite es:

$$8. \quad u = \frac{u_r}{k} \ln\left(\frac{h}{h_r}\right) \quad \text{donde} \quad u_r = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

De donde las variables de la formula la definen de la siguiente forma:

u : Velocidad media del flujo a la altura h (m/s)

h : Altura a una velocidad dada u (m)

h_r : Altura de rugosidad (m)

u_r : Velocidad de fricción (m/s)

σ : Esfuerzo cortante (Kg-m/s²)

ρ : Densidad del fluido (Kg/m³)

k: Constante de Von Kármán (adimensional).

Importante he de mencionar que la constante de Kármán $K = 0.40$ para modelado de fluidos con turbulencia y considerando una altura de partida de 0.1 m la fórmula 9 adjunta queda establecida para estos casos así:

$$9. \quad u = \frac{u_r}{0.4} \ln\left(\frac{h}{0.1}\right)$$

d) Bloque switch comparador (bloque central ≥ 1)

El bloque en mención permite gestionar la información estructurada por los bloques de fórmulas anteriores a partir de un valor mínimo establecido de velocidad 1m/s, para posteriormente enviar esta información al bloque o tabla de interpolación de datos que genera la curva de potencia de salida del aerogenerador en base a la variación de la velocidad.

e) Bloque de interpolación de datos (Smart Wind Power curve)

Este bloque representa una función de n-variables desde la biblioteca de Simulink: esta función Lookup Tables sirve para modelizar la no linealidad, pues estos bloques de tablas de búsqueda utilizan arreglos de datos para asignar valores de entrada a valores de salida, aproximándose a las funciones matemáticas reales.

$$10. \quad P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p(\beta, \gamma)$$

f) Bloque función densidad del viento

La densidad del aire es una cantidad física dada por la relación entre la masa del aire y su volumen, la misma que está influenciada por tres factores que son: la temperatura, la presión y el nivel de humedad presente en el mismo.

Por lo tanto, este bloque permite gestionar una función cuya fórmula 11 se adjunta a continuación (emitida por la CIPM – Comité Internacional de pesas y medidas que modifíco la fórmula), la misma que da lugar al cálculo

matemático de la densidad del aire en función de las variables antes detalladas, logrando así una exactitud en el proceso de simulación.

$$11. \quad \rho = \frac{P \cdot Ma}{Z \cdot R \cdot T} \left[(1 - Xv) * \left(1 - \frac{Mv}{Ma} \right) \right] \quad \text{CIPM-1981/91}$$

Para esta fórmula las variables se definen de la siguiente manera:

ρ : densidad del aire (kg/m³)

P: presión atmosférica (Pa-pascal)

Ma: masa molar del aire seco 0.0289635 Kg/mol (para aire con una fracción molar de CO₂ (X_{CO_2} = 0.004))

Z: factor de compresibilidad (adimensional)

R: constante molar de los gases 8.3145 (J/mol*K°) con su equivalente 0.08206 (L*amt/mol*K°)

T: temperatura termodinámica en K° ($T^\circ = t^\circ + 273.15$) donde t° (C°) valida entre 15°C y 27°C.

Xv: fracción molar del vapor de agua (adimensional)

Mv: masa molar de vapor de agua 0.0180154 (Kg/mol)

Posteriormente la presente fórmula 12 adjunta es necesaria detallar debido a la variable Xv que pertenece a la fórmula 11 antes descrita y que son función de otros parámetros que la naturaleza aporta, siendo estas:

$$12. \quad Xv = \frac{h}{100} \left[(\alpha + \beta + P + \gamma + t^2) * \frac{e^{(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T})}}{P} \right] \quad \text{CIPM- 1981/91}$$

Para la fórmula 12 adjunta las variables se definen de la siguiente forma:

t: temperatura ambiente (K°)

P: presión atmosférica (Pa-pascal)

h: humedad relativa (%)

α : 1,0062 (adimensional)

β : $3,14 \cdot 10^{-8}$ (adimensional)

γ : $5,6 \cdot 10^{-7}$ (adimensional)

A: $1,24 \cdot 10^{-5}$ (adimensional)

B: $-1,91 \cdot 10^{-2}$ (adimensional)

C: 33,93711047 (adimensional)

D: $-6,34 \cdot 10^{-3}$ (adimensional)

Finalmente, la fórmula 13 adjunta a continuación es necesaria detallar debido a la variable Z que pertenece a la fórmula 11 antes descrita y que son función de varios parámetros que la naturaleza aporta, siendo estas:

$$13. \quad Z = 1 - \left[\left(\frac{P}{T(a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + (b_0 + b_1 \cdot t)X_v + (c_0 + c_1 \cdot t)X_v^2)} \right) + \frac{P^2}{T^2(d + EX_v^2)} \right] \quad \text{CIPM-1981/91}$$

Para la fórmula 13 adjunta las variables se definen de la siguiente forma:

a_0 : $1,58123 \cdot 10^{-6}$ (adimensional)

a_1 : $-2,9331 \cdot 10^{-8}$ (adimensional)

a_2 : $1,1043 \cdot 10^{-10}$ (adimensional)

b_0 : $5,7070 \cdot 10^{-6}$ (adimensional)

b_1 : $-2,05 \cdot 10^{-8}$ (adimensional)

c_0 : $1,9898 \cdot 10^{-4}$ (adimensional)

c_1 : $-2,3760 \cdot 10^{-6}$ (adimensional)

d: $1,83 \cdot 10^{-11}$ (adimensional)

E: $7,65 \cdot 10^{-9}$ (adimensional)

Ahora, para gestionar la programación se ingresan las fórmulas 11-12 y 13 al bloque en mención de tal manera que la simulación registre la mayor exactitud y apegada a la realidad del medio.

g) Bloque función Ganancia (último bloque)

El bloque aplica una ganancia constante a la entrada y en Math Function: este bloque incluye la mayor parte de las funciones matemáticas típicas, con la excepción de las funciones trigonométricas. K es la ganancia.

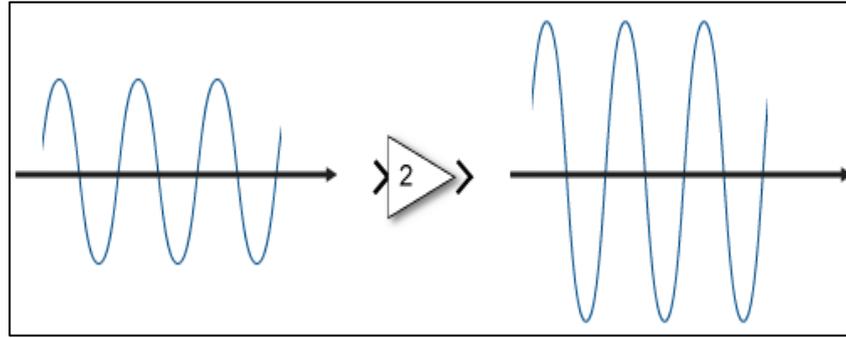


Figura 27: Bloque amplificador Ganancia

Fuente: MathWorks centro de ayuda

CAPITULO 4

4.1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ELECTRIFICACIÓN EN POBLACIONES DEL GOLFO DE GUAYAQUIL

4.1.1 Introducción

En la actualidad alrededor de 1.4 billones de personas en el mundo no tienen acceso a la red eléctrica, donde casi el 85% viven en lugares aislados como son islas, sabanas, montañas y desiertos, en estos lugares la electricidad es generada por grupos electrógenos con motores de combustión interna (ICE), otro grupo de habitantes usan otros medios para iluminación, los primeros usan combustibles fósiles para la generación lo cual es considerado costoso, peligroso el transporte y almacenamiento, sin considerar la contaminación ambiental por la emisión de dióxido de carbono (CO₂). Otro de los inconvenientes al generar electricidad por estos equipos es las pérdidas de energía al convertirse en calor.

En el Golfo de Guayaquil se han llevado a cabo varios proyectos de electrificación en las poblaciones, con el objetivo de proporcionar acceso a servicios eléctricos confiables y mejorar la calidad de vida de las comunidades. Estos proyectos han sido implementados tanto por entidades gubernamentales como por empresas privadas abarcando áreas urbanas y rurales de la región.

Uno de los enfoques principales de estos proyectos ha sido la expansión de la red eléctrica, lo cual implica la construcción de nuevas líneas de distribución y la instalación de postes, transformadores y otros elementos necesarios para llevar la electricidad a las viviendas y negocios. Esto ha permitido que otras poblaciones tengan acceso al servicio eléctrico y se beneficien de sus ventajas.

Además de la expansión de la red eléctrica, se han implementado proyectos de electrificación rural, dirigidos a comunidades que se encuentran en zonas más remotas y de difícil acceso. Estos proyectos han utilizado tecnologías y soluciones energéticas alternativas, como la energía solar y eólica, para llevar electricidad a áreas donde la conexión a la red tradicional no era viable. Esto ha sido especialmente relevante en poblaciones ubicadas en islas o áreas costeras.

Otro aspecto importante de los proyectos de electrificación en el Golfo de Guayaquil ha sido la instalación de sistemas de iluminación pública. Estos sistemas han mejorado

la seguridad y la visibilidad en calles, parques y espacios públicos, creando entornos más seguros y agradables para los residentes.

Estos proyectos de electrificación han tenido un impacto significativo en las poblaciones del Golfo de Guayaquil, han proporcionado acceso a servicios esenciales, como iluminación, electrodomésticos y comunicaciones, mejorando la calidad de vida de los habitantes. Además, han impulsado el desarrollo económico al fomentar la creación de pequeños negocios, la generación de empleo y la mejora de las condiciones para la industria local.

En resumen, los proyectos de electrificación en las poblaciones del Golfo de Guayaquil han sido fundamentales para brindar acceso a servicios eléctricos confiables y mejorar la calidad de vida de las comunidades. Estos esfuerzos continúan en marcha, con el objetivo de seguir expandiendo el acceso a la electricidad y promoviendo el desarrollo sostenible en la región, sin embargo, al momento no existe un análisis del comportamiento de los sistemas renovables.

4.2 LUGAR DE CASO DE ESTUDIO

El modelado y dimensionamiento del sistema de generación renovable híbrido aislado propuesto se utiliza para satisfacer la demanda energética de los usuarios de la comunidad de masa 2 en el golfo de Guayaquil, quienes a través del tiempo han sido aislados. La isla está ubicada a 45 min en bote desde la ciudad de Guayaquil hace aproximadamente 2 años no contaban con el servicio de electricidad ni agua potable, gracias a proyectos de vinculación con la sociedad de ciertas universidades han sido dotados con sistemas fotovoltaicos para el funcionamiento de ciertas cargas básicas de las viviendas, pero sin satisfacer todas las necesidades por lo que necesitan encender grupos electrógenos que funcionan a partir de combustibles fósiles.

La comunidad está conformada por 17 viviendas con un total de 87 personas según el levantamiento de información realizado, la principal actividad económica es la pesca en el río Guayas para luego ser comercializado en el lugar o en el mercado Caraguay. En la figura 28 se muestra el lugar de estudio, cuenta con un establecimiento educativo unidocente, la comunidad tiene acceso por vía terrestre, pero es restringido debido a que son empresas camaroneras que se asientan en el sector.



Figura 28: Lugar de estudio del sistema híbrido

Fuente: Google maps

Mediante la visita de campo se levantó toda la información requerida de los electrodomésticos que poseen, en la actualidad usan sistemas fotovoltaicos individuales de 250 VA con los cuales no pueden utilizar electrodomésticos básicos como una licuadora, para el dimensionamiento ha sido considerados 5 focos de 9W, un televisor de 80W, un parlante de 250W y diversas cargas de 100W, en la figura 29 se muestra la curva característica de consumo diario para las 17 viviendas, donde poseen un promedio de potencia de 0.72 kW mientras que la potencia máxima instalada es de 2.92 kW, la energía diaria es de 17.31 kWh/día.

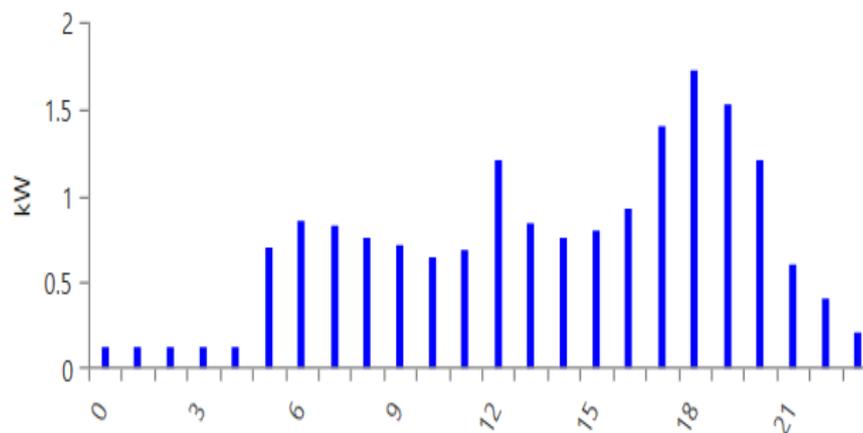


Figura 29: Curva de consumo diario de la comuna de masa 2

Fuente: Software de simulación

4.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

El sistema híbrido propuesto está conformado por paneles solares, turbina eólica que cumplen la función de generación limpia mientras que como sistema de respaldo y almacenamiento se coloca un banco de baterías junto a un grupo electrógeno, en la figura 30 se muestra el esquema del sistema bajo, la confiabilidad del suministro.

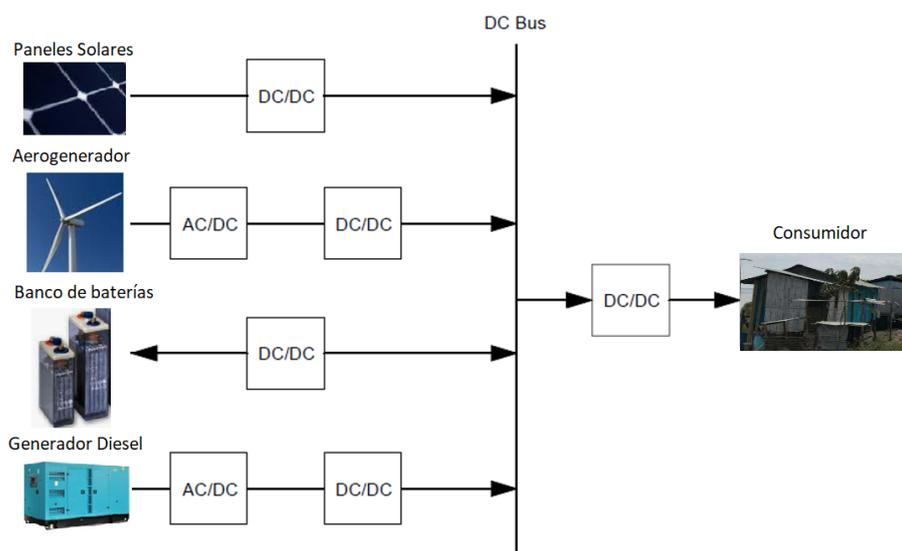


Figura 30: Esquema del sistema híbrido de energía renovable

Fuente: Autor del trabajo

La selección y dimensionamiento del banco de baterías para almacenar la energía que proviene de las fuentes renovables se utiliza con dos objetivos, el primero es suavizar el desajuste de distribución durante el día entre el sistema de generación de energía y el consumidor, el segundo objetivo es dotar de energía cuando las fuentes renovables no son capaces de satisfacer. El uso del generador a combustible fósil se considera solo en caso de emergencia debido al costo del combustible y la contaminación por efecto de gases de efecto invernadero.

4.4 DIMENSIONAMIENTO TÉCNICO DEL SISTEMA HÍBRIDO

Luego del análisis de diferentes softwares de dimensionamiento se selecciona el software HOMER, en la figura 31 se muestra el procedimiento a seguir, el primer paso es la localización del lugar en el mapa interactivo que ofrece, la

resolución es muy alta calidad, ubicado el punto se descarga todas las variables meteorológicas necesarias para el estudio (solar, temperatura, eólica, etc.).

El siguiente paso es ingresar los valores de la carga en vatios para cada una de las horas de un día específico, obtenido la curva característica el programa analiza la carga y presente la potencia pico y consumo de energía, el siguiente paso es la selección de todos los componentes que se han definido en la figura 31, el software incluye una librería con los componentes comerciales, para finalizar se activa la calculadora para dimensionar el sistema, al cumplir con las restricciones que indica el diseñador el software da la solución.



Figura 31: Procedimiento a seguir para el dimensionamiento.

Fuente: Autor del trabajo

4.4.1 Variables meteorológicas

Para el correcto dimensionamiento es necesario descargar las variables meteorológicas para evaluar las fuentes a utilizar, el lugar cuenta con abundante radiación solar como se muestra en la figura 32 llegando a 4.52 kWh/m²/día de promedio, julio es el peor mes con 4.01 kWh/m²/día

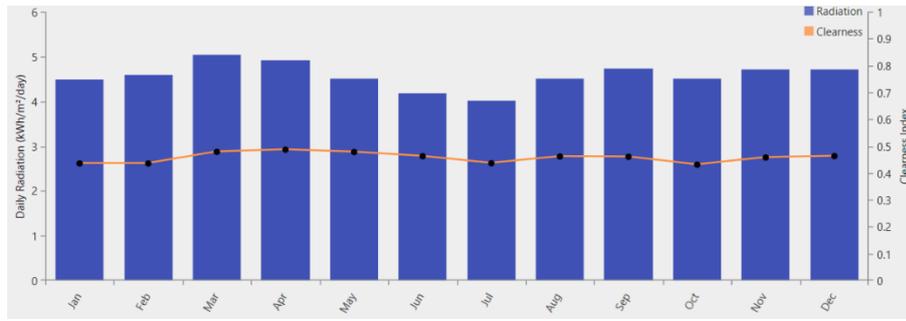


Figura 32: Predicción de radiación solar mensual

Fuente: HOMER

En el caso de la velocidad del viento es baja en el lugar de estudio, sin embargo, puede ser aprovechado para generación de baja potencia para casos de emergencia cuando el generador fotovoltaico o a diésel no funcione. En la figura 33 se muestra que tiene un promedio de 3.76 m/s.

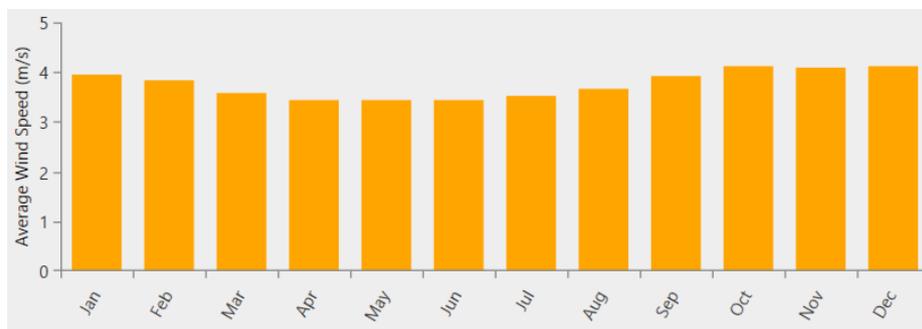


Figura 33: Predicción de velocidad del viento mensual

Fuente: HOMER

El otro generador para utilizar no requiere de una fuente renovable como es el caso del generador a diésel o el banco de baterías que también cumple esta función.

4.4.2 Componentes utilizados

Un panel solar fotovoltaico es un dispositivo compuesto por celdas solares que convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Estas celdas solares están hechas de materiales semiconductores, como el silicio, que generan corriente eléctrica cuando son expuestas a la luz solar. Los paneles solares fotovoltaicos son una forma sostenible y renovable de

generar electricidad, ya que aprovechan la energía del sol, una fuente de energía inagotable. Se utilizan comúnmente en sistemas de generación de energía solar para hogares, negocios e instalaciones industriales, contribuyendo a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la mitigación del impacto ambiental.

4.5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

El software hace cientos de simulaciones para encontrar la configuración óptima y al menor coste de la energía, en la tabla xx se muestra los resultados obtenidos, la configuración con un menor coste de la energía está compuesto por 2 kW de paneles solares, 3 aerogeneradores, 1 aerogenerador de 2.4 kW, 12 baterías de 140 Ah, un inversor de 2.5 kW a un coste de 0.27 \$/kWh, el costo de la implementación es de 14655.46 dólares.

Panel solar Jinko (kW)	Aerogenerador 650W (Und)	Generador (kW)	Batería BAE 12 V2 PVV 140 (Und)	Inversor (kW)	Costo / NPC (\$)	COE (\$)
2	3	2.4	12	2.5	14655.46	0.27
9	1		10	2.5	14998.48	0.28
9	3	2.4		2.5	30842.71	0.58
	3	2.4	1	2.5	33173.03	0.62

Tabla 02: Valores de exponente de Hellmann

Fuente: Valoración del viento como fuente de energía eólica

4.5.1 Resultados energéticos.

El total de la energía generada por el sistema renovable híbrido está dividida por diferentes generadores, los paneles fotovoltaicos aportan la mayor producción con el 50.1% alcanzado 2766 kWh/año, los aerogeneradores tiene la segunda mayor producción con 43.3% produciendo 2392 kWh/año, el generador de combustible fósil tiene la menor generación con el 6.63% que da lugar a 366 kWh/año el equipo se utiliza solo para casos de emergencia, el total de generación es de 5524 kWh/año, la carga requiere 4109 kWh/año, el exceso de electricidad es del 22% con 1235 kWh/año, para disminuir el

porcentaje se tiene que gestionar la energía, en la figura 34 se muestra en barras la energía generada por cada una de las fuentes.

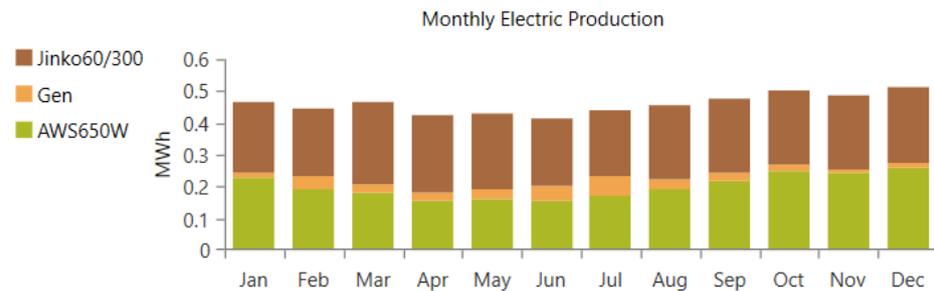


Figura 34: Producción mensual de energía

Fuente: HOMER

El primer elemento a analizar es el generador fotovoltaico, está compuesto por paneles fotovoltaicos de 300 W, del fabricante Jinko, la capacidad requerida es de 2 kW, el promedio de salida es de 0.316 kW, la energía de salida es de 7.58 kWh/día, la producción total es de 2766 kWh/anuales, la máxima potencia es de 1.86 kW, las horas de operación son de 4410 horas anuales, el costo de la energía es de 0.0301dolares por kWh, en la figura 35 muestra en que horario se produce la mayor salida de potencia.

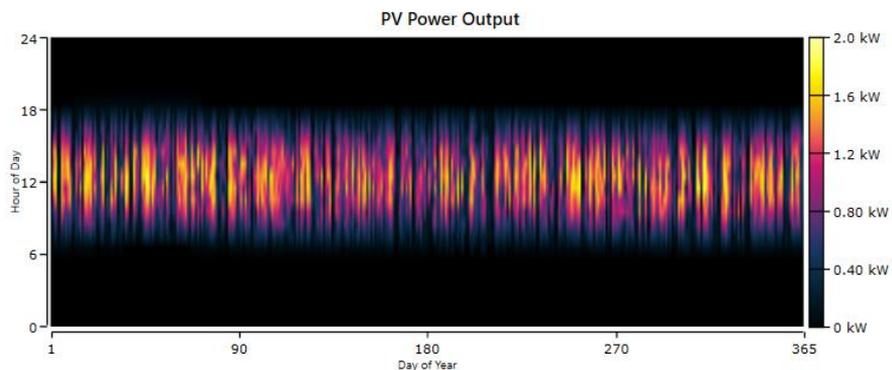


Figura 35: Potencia de salida del generador fotovoltaico

Fuente: HOMER

El número de aerogeneradores a utilizar para satisfacer las necesidades energéticas es de 3 con una potencia total de salida 1.95 kW, la producción anual es de 2392 kWh, las horas de operación es de 6770 horas, el costo de la energía es de 0.0748 \$/kWh, en la figura 36 se muestra la potencia de salida

de los equipos durante todo el año, la diferencia de color especifica el valor de potencia.

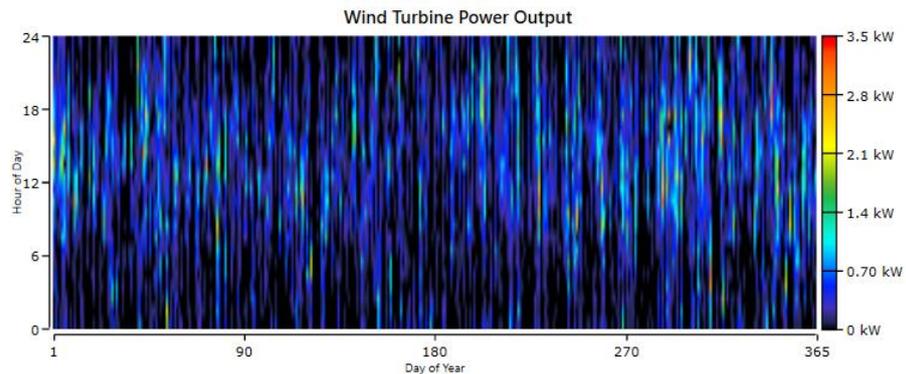


Figura 36: Potencia de salida del generador eólico.

Fuente: HOMER

Al sistema se agrega un grupo electrógeno para casos de emergencia, las horas de operación es de 574 con 197 arranques, el tiempo de vida es de 27.4 años, el costo de la generación es de 0.206 \$/hora con un costo marginal de 0.094 \$/kWh, la producción de electricidad es de 366 kWh/añual, el generador consume 160 litros, el consumo específico es de 0.436 L/kWh, en la figura 37 indica la hora de día



Figura 37: Potencia de salida del grupo electrógeno

Fuente: HOMER

El banco de baterías está conformado por 12 unidades, cada una tiene un voltaje de 12 V, la autonomía del sistema es de 32.3h, el costo de almacenamiento es de 0.205\$/kWh, la capacidad nominal es 18.9 kWh, la energía que se espera almacenar es de 17148 kWh, la expectativa de vida es de 11.4 años, la energía que ingresa al banco de baterías es de 1528 kWh/año, mientras que la energía entregada a la carga es de 1464 kWh/año con unas

pérdidas de 76.7 kWh/año, en la figura 38 se muestra el estado de la carga del banco, en color azul las baterías están descargadas mientras que en color naranja se encuentran cargadas cerca del 100%.

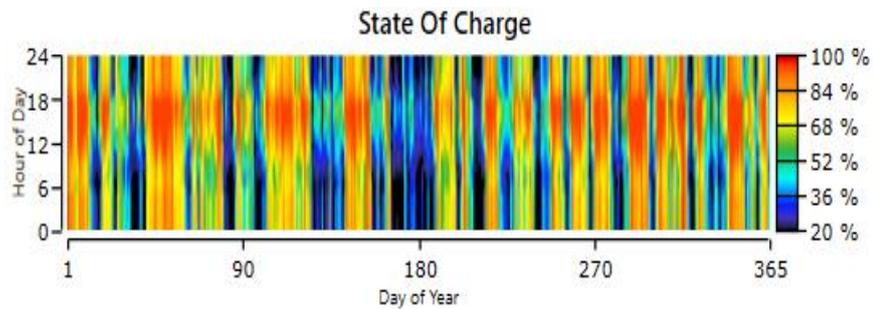


Figura 38: Estado de la carga del banco de baterías

Fuente: HOMER

4.5.2 Resultados económicos

El programa utilizado es utilizado para optimizar el sistema de energía híbrido y encontrar el menor coste de generación, en el trabajo propuesto el valor nivelado de la energía es de 0.275 \$/kWh, los costos de operación son de 532.62 dólares, mientras que el coste total del sistema es de 14655.46 dólares, el componente de mayor valor son el banco de baterías con 5464.63 dólares, el siguiente elemento es el inversor con 3291.86 dólares, el generador fotovoltaico tiene un precio de 1075.65 dólares. En la figura 39 se muestra el detalle de los costos de capital, reemplazo y operación & mantenimiento.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
Autosize Genset	\$1,200.00	\$0.00	\$509.14	\$826.08	-\$25.39	\$2,509.83
AWS HC 650W Wind Turbine	\$1,350.00	\$430.39	\$775.65	\$0.00	-\$242.55	\$2,313.49
BAE SECURA SOLAR 12 V 2 PVV 140	\$3,420.00	\$2,708.30	\$0.00	\$0.00	-\$663.68	\$5,464.63
Fronius Galvo 2.5-1	\$1,500.00	\$1,325.16	\$646.38	\$0.00	-\$179.67	\$3,291.86
Jinko Eagle PERC60 300W	\$300.00	\$0.00	\$775.65	\$0.00	\$0.00	\$1,075.65
System	\$7,770.00	\$4,463.85	\$2,706.82	\$826.08	-\$1,111.29	\$14,655.46

Figura 39: Costo de los componentes del sistema híbrido

Fuente: HOMER

El flujo de caja se muestra en la figura 40, la inversión inicial como es de suponerse se hace al inicio de la implementación, al décimo año se tiene gastos por reemplazo de componentes, en el año 25 se recupera la inversión.

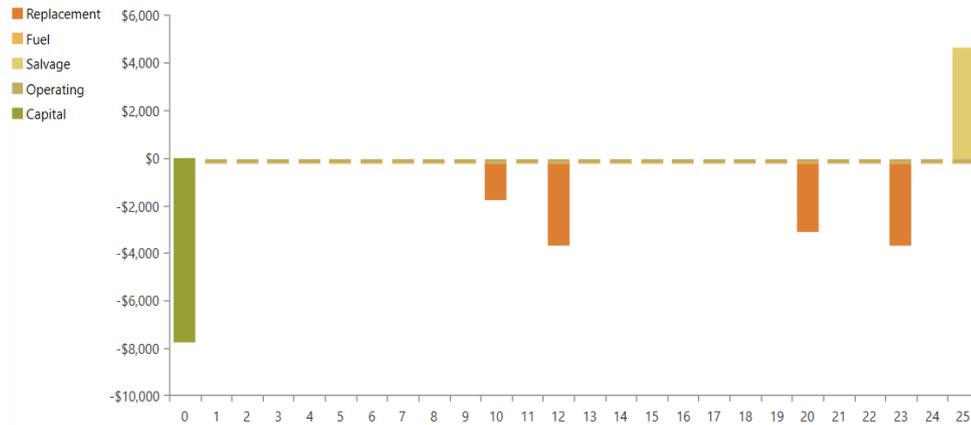


Figura 40: Flujo de caja del sistema híbrido

Fuente: HOMER

4.6 MODELADO DEL SISTEMA EN MATLAB

El modelado de componentes o del sistema híbrido implica crear representaciones abstractas o modelos que ayudan a comprender, diseñar, analizar o gestionar componentes de generación, sistemas o conceptos en diversos campos. Estos modelos son herramientas poderosas que permiten tomar decisiones informadas y optimizar el rendimiento de los componentes que se están estudiando. Cada uno de los componentes del sistema se realiza el modelado en el software Matlab-Simulink, en la figura 41 se muestra el modelado de la turbina eólica como se detalla en la unidad anterior.

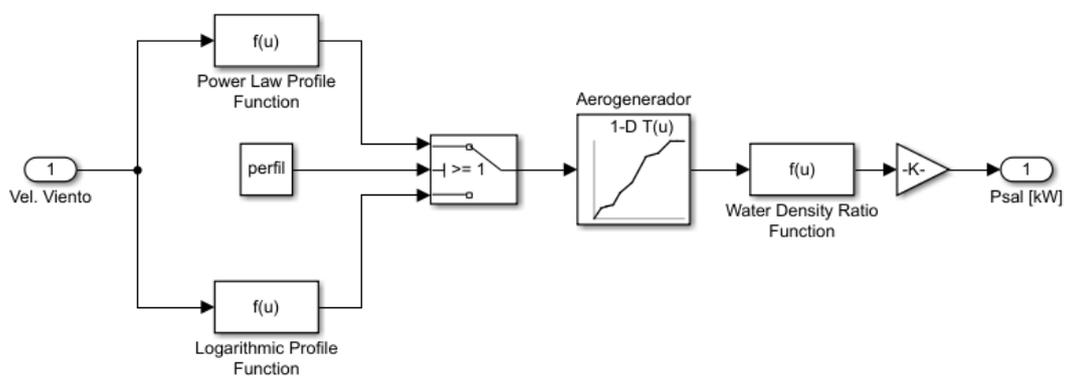


Figura 41: Bloques de Simulink para el modelado de la turbina eólica

Fuente: Simulink- autores

Para el caso del generador fotovoltaico se utiliza ecuación detallada en el bloque de parámetros Fcn, como se muestra en la figura 42, la variable ingresada se declara en una máscara por facilidad de ingreso con diferentes valores.

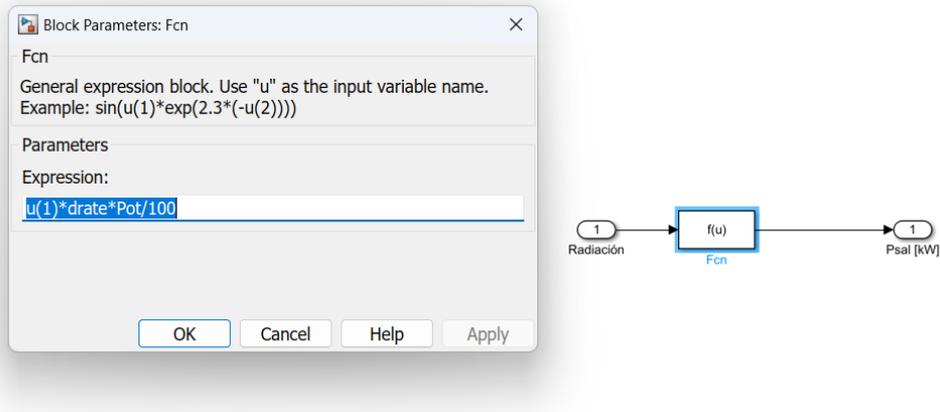


Figura 42: Ecuación que gobierna el modelado

Fuente: Simulink- autores

El modelado de la batería es el más complejo de todos debido al funcionamiento en los diferentes estados de la carga, en la figura 43 se muestra cada uno de los bloques que se utiliza para simular cada uno de los estados de funcionamiento, es importante analizar la descarga profunda.

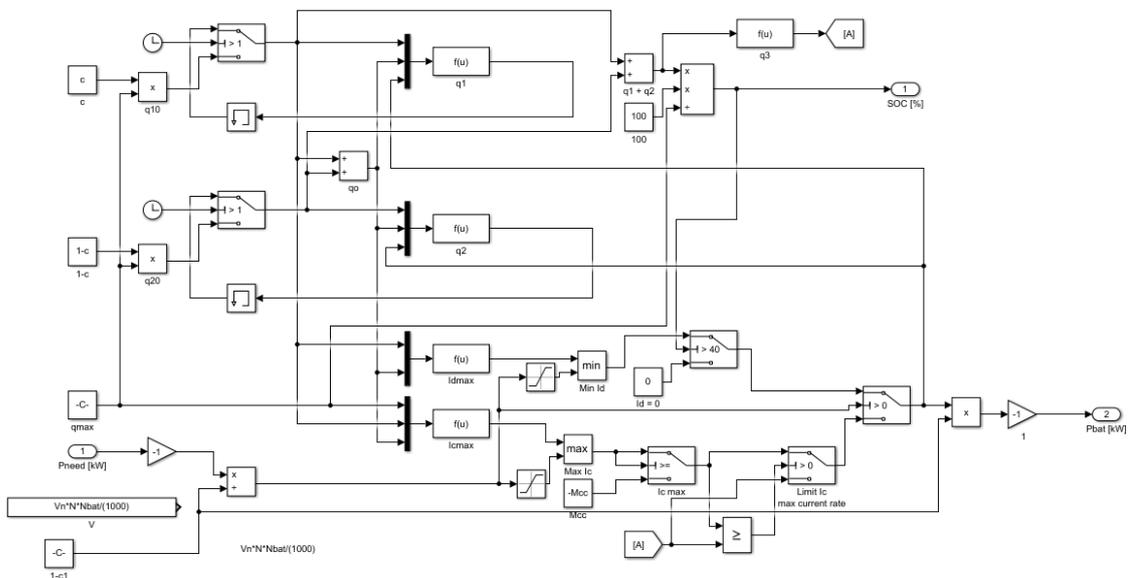


Figura 43: Modelado de la batería del sistema híbrido

Fuente: Simulink- autores

Una vez completado la creación de todos los bloques de los componentes que conforman el sistema híbrido se crean las máscaras para los elementos que se intervienen, en la figura 44 se muestra la edición de la máscara, en el cuadro se ingresan el nombre de la variable y la descripción para facilidad de los diferentes modelos y tamaños del sistema.

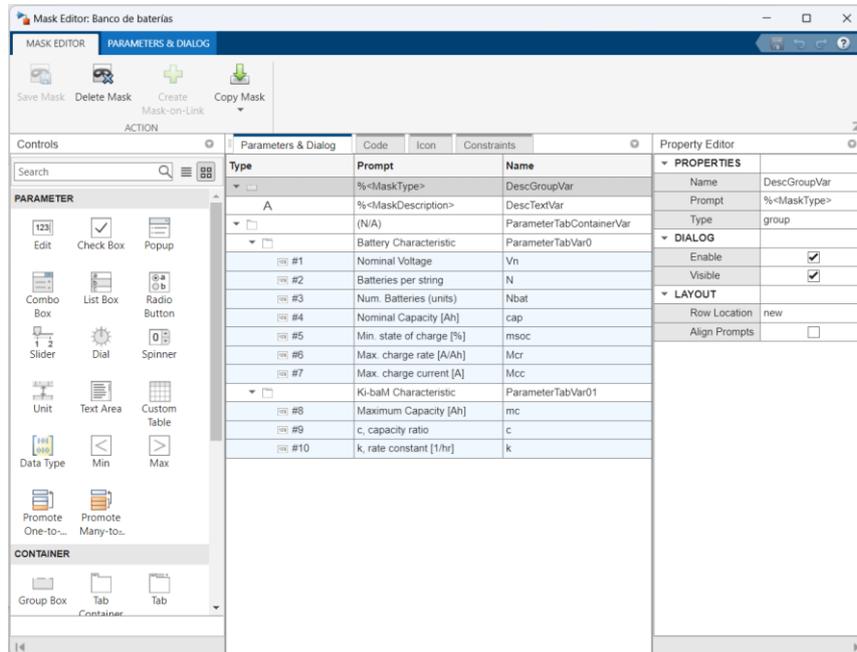


Figura 44: Diseño de la máscara para cada uno de los bloques

Fuente: Simulink- autores

Concluida la edición, el diseñador observa la siguiente interfaz donde ingresa todas las características técnicas que se considere necesario para la simulación, cada uno de los componentes es cuidadosamente ingresado para evitar resultados erróneos que pueden resultar con un dimensionamiento incorrecto.

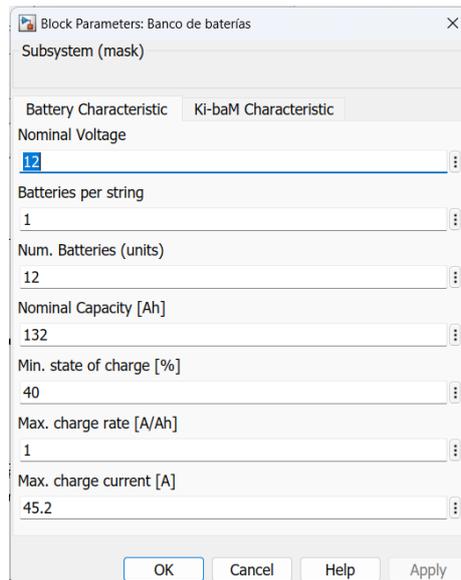


Figura 45: Mascara de uno de los componentes del sistema

Fuente: Simulink- autores

En la figura 46 se observa tres bloques en color rojo (From Workspace), se utilizan para leer datos en un modelo de Simulink® desde un espacio de trabajo y proporciona los datos como una señal o un bus no virtual en la salida del bloque. Puede cargar datos desde el espacio de trabajo base, el espacio de trabajo modelo o el espacio de trabajo de máscara. Puede utilizar el bloque Desde el espacio de trabajo para cargar datos de señales en cualquier modelo o subsistema en una jerarquía de modelos desde un espacio de trabajo accesible para el modelo o subsistema al que se hace referencia.

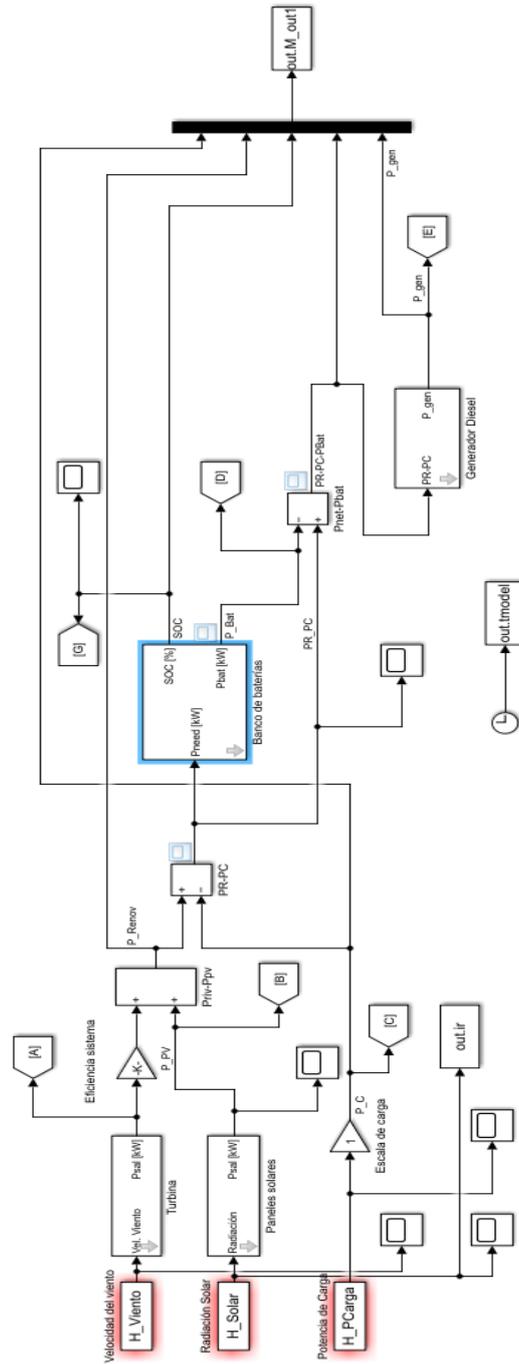


Figura 46: Modelado de sistema híbrido en matlab

Fuente: Simulink- autores

Puede especificar cómo el bloque construye la salida a partir de los datos del espacio de trabajo, incluido el período de muestra de salida, el comportamiento de interpolación y extrapolación, y si se utiliza la detección

de cruce por cero. Los datos cargados en Simulink provienen del resultado de la simulación en Homer, el programa entrega 8760 para un año, con la información se procede a la simulación, en la figura 47 se muestra las curvas de radiación solar de la data cargada en Simulink.

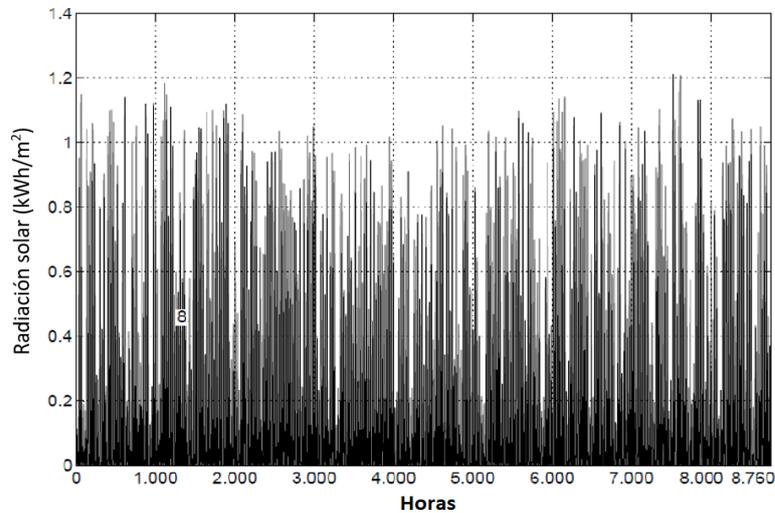


Figura 47: Radiación solar global en la localidad de estudio

Fuente: Simulink

4.6.1 Análisis y resultados del modelado

Los valores de entrada son tratados en el script y mediante programación se crean variables para la velocidad del viento, radiación solar, carga. Cada variable se envía al entorno de Matlab-Simulink como insumo para el modelado de los generadores de energía renovable, en la figura 48 se muestra la potencia de salida de los tres aerogeneradores con muestras de cada hora para todo el año.

En algunas ocasiones cuando la velocidad del aire es menor a 2 m/s no tiene potencia de salida, mientras que la máxima potencia de salida en un momento pico es de 4.2 kW, en gran parte del año la potencia de salida es menor de 0.5 Kw, en la siguiente figura se muestra la potencia de salida, la energía anual es de 2566 kWh.

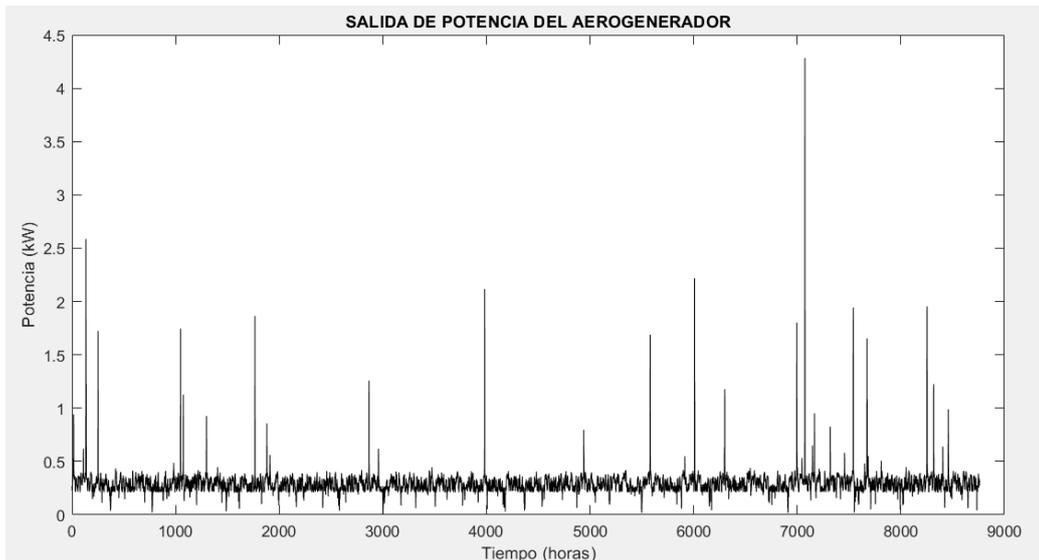


Figura 48: Potencia de salida del aerogenerador
Fuente: Simulink-autores

El funcionamiento del modelado se muestra en la figura 49 con la potencia de salida del generador fotovoltaico, en ningún momento llega a la potencia nominal del sistema solar 2 kW, la energía generada por el sistema es de 2672 kWh anual.

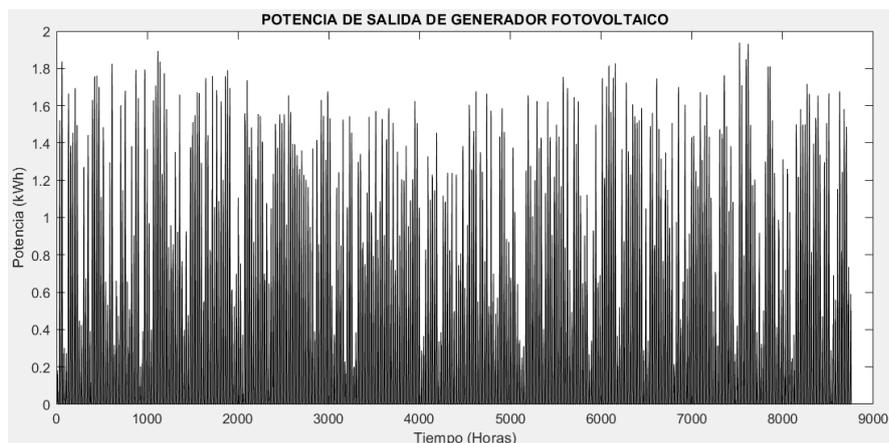


Figura 49: Potencia de los paneles solares
Fuente: Simulink- autores

El sistema híbrido cuenta con un grupo electrógeno para casos de emergencia, en la siguiente imagen se muestra el número de veces que funciona el equipo.

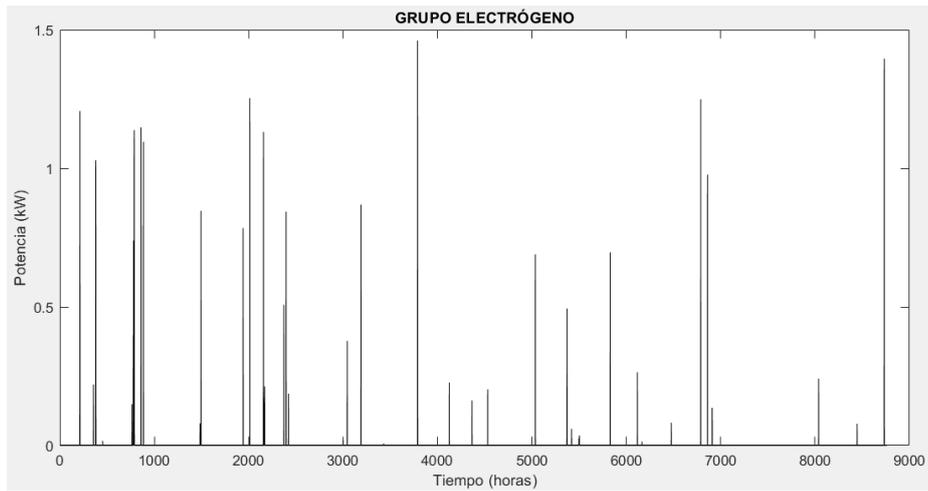


Figura 50: Funcionamiento del grupo electrógeno

Fuente: Simulink-autores

CONCLUSIONES

El modelo híbrido eólico-solar diseñado para analizar la electrificación de comunidades en el Golfo de Guayaquil integra tecnologías de energía eólica y solar para evaluar su comportamiento utilizando MATLAB & Simulink, las condiciones del sitio han sido analizadas cumpliendo el primer objetivo. Esta iniciativa busca abordar la electrificación de poblaciones en zonas costeras mediante un sistema combinado que aprovecha la energía del viento y el sol, dos recursos renovables abundantes en la región.

El sistema híbrido combina paneles solares fotovoltaicos y turbinas eólicas para generar electricidad de manera sostenible. El análisis se realiza a través de modelos matemáticos y simulaciones computacionales con MATLAB & Simulink cumpliendo el segundo objetivo, lo que permite comprender el comportamiento del sistema en diferentes condiciones climáticas, de demanda energética y factores ambientales.

La investigación se centra en optimizar la eficiencia energética, evaluar la estabilidad del sistema, determinar la capacidad de generación y almacenamiento, y analizar la viabilidad económica de implementar este tipo de sistemas en comunidades del Golfo de Guayaquil. Para validar el modelo se utiliza un software comercial de optimización HOMER, para satisfacer la carga se requiere 2 kW de paneles solares, 3 aerogeneradores de 650 W, un grupo electrógeno de 2.4 kW, 12 baterías de 140Ah, el costo del sistema es de 14655 USD y el menor coste de la energía es de 0.27 USD/kWh, con la evaluación económica se cumple los objetivos planteados para el presente trabajo de titulación.

RECOMENDACIONES

El modelaje de sistemas híbridos eólico-solar con MATLAB & Simulink para electrificación en el Golfo de Guayaquil ofrece una solución sostenible y viable. Recomiendo su implementación por su capacidad de evaluar la generación eléctrica combinada de viento y sol, adaptándose a diversas condiciones. Este enfoque tecnológico integral permite optimizar recursos, evaluar estabilidad y viabilidad económica, fundamentales para proporcionar energía limpia y accesible a las comunidades costeras. Su análisis detallado puede guiar decisiones eficaces hacia la adopción de fuentes de energía renovable, mejorando la calidad de vida y fomentando la independencia energética en estas áreas.

BIBLIOGRAFIA

- Alarcón, A. D. (2015). ¿Cuál es la importancia de los sistemas híbridos para América Latina y el Caribe? Retrieved from <https://blogs.iadb.org/energia/es/cual-es-la-importancia-de-los-sistemas-hibridos-para-america-latina-y-el-caribe/>
- Celec, E. (2019). Gestión ambiental. Retrieved from <https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/cev/gestion-ambiental-de-la-central-villonaco>
- Chaux Olaya, L. V., Porras, J. J., & Molina, J. S. (2019). GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SECTOR RURAL DEL MUNICIPIO DE TOCAIMA, COLOMBIA. *Segundo Congreso Latinoamericano de Ingeniería*.
- CIE, C. para la investigación energética. (2020). Energía Solar. Retrieved from <http://energia.org.ec/cie/energia-solar/>
- Corral, C. P., Garcíavillalba, L. A., Caberta, R. Ñ., & Alberto, R. (2014). *Diseño de un sistema Híbrido eólico solar para suministro de energía eléctrica a zona rural en el estado de Chihuahua*. (54).
- Ecuatran. (2019). Energía fotovoltaica en el Ecuador. Retrieved from 5 agosto 2019 website: <http://www.ecuatran.com/blog/energia-fotovoltaica-en-el-ecuador-2/>
- Guacaneme Moreno, J. A., Trujillo Rodríguez, C. L., & Peña Suesca, R. A. (2007). *Generación híbrida de energía eléctrica como alternativa para zonas no interconectadas*. 57–63.
- Herrera Barros, V. C. (2011). *Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa*.
- Medina Bañón, R., & Peñalvo López, E. (2017). *ESTUDIO DEL POTENCIAL DE LOS*

SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES PARA INCREMENTAR EL GRADO DE ELECTRIFICACIÓN EN LA REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO (RDC) DE UNA MANERA SOSTENIBLE.

Parra Aguirre, J. Z. (2018). *ANÁLISIS DE LA MATRIZ ENERGÉTICA ECUATORIANA Y PLAN DE DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE PARA LA CIUDAD DE MACHALA.*

Párraga Palacios, Á. G., Intriago Rodríguez, S. A., Velasco Fuentes, E. D., Cedeño Quinto, V. M., Murillo Párraga, N. L., & Zambrno Gavilanes, F. E. (2019). *Producción de energía eólica en Ecuador. 3, 22–32.*

Picasso, N. (2017). *IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA EÓLICA.* Retrieved from <https://blablanegocios.com/impacto-ambiental-la-energia-eolica/>

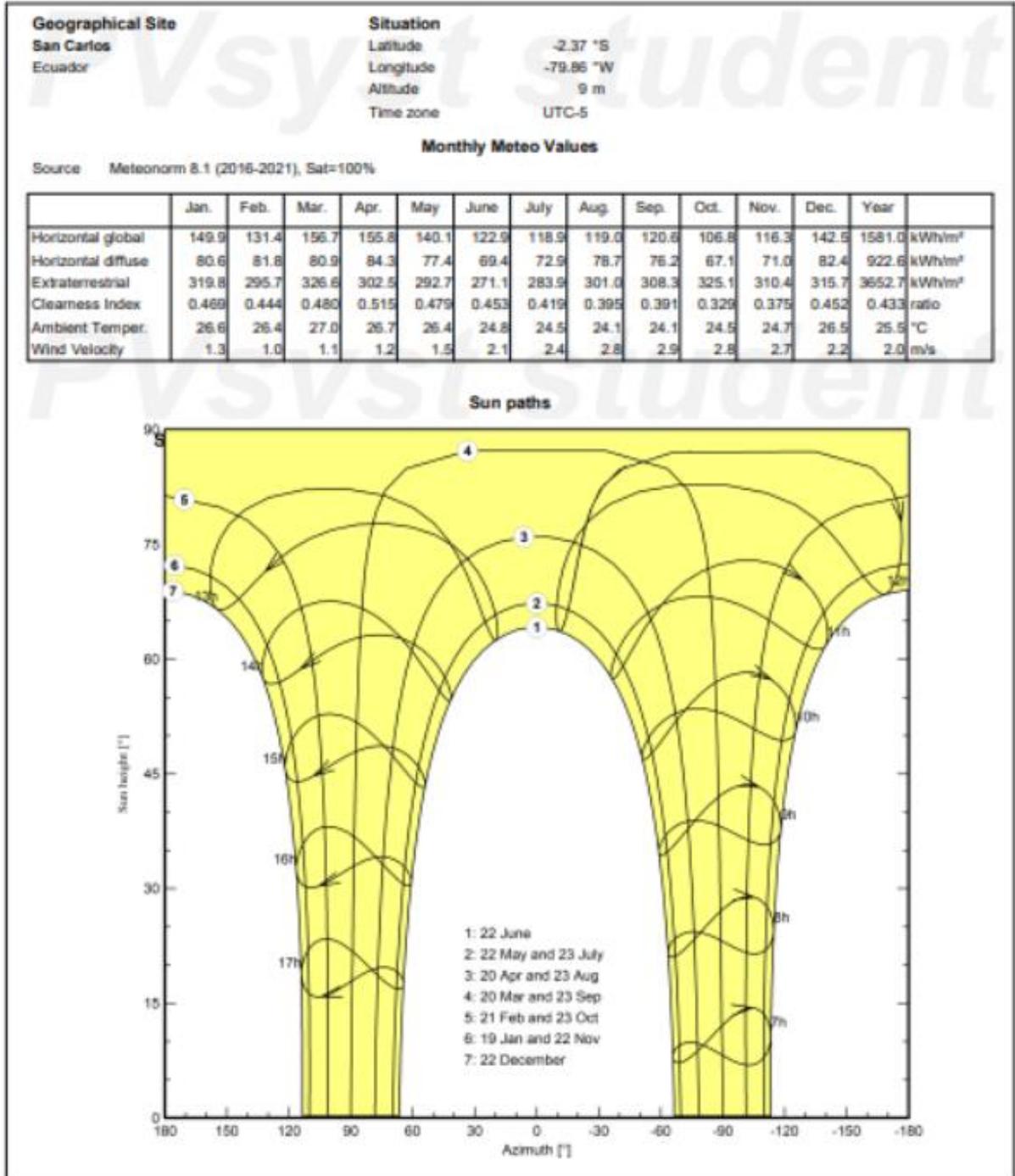
ANEXOS

VARIABLES METEOROLÓGICAS DEL LUGAR DE ESTUDIO



PVsyst V7.3.2

(Ecuador)



1.2. ANEXO – 01:

RESOLUCIÓN No. ARCERNNR - 002/2021

EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGIA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES ARCERNNR.

CONSIDERANDO:

- Que**, mediante Decreto Ejecutivo No. 593 publicado en el Registro Oficial No. 134 de 23 de febrero de 1999, se promulgó el Reglamento para el Funcionamiento para el Mercado Eléctrico Mayorista, que en la parte pertinente de su artículo 21 dispone que el CONELEC establecerá los precios que el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) utilizará para valorar la producción de cada una de estas plantas, sobre la base de referencias internacionales, cuyo valor total será distribuido proporcionalmente a las transacciones económicas realizadas por los distribuidores y grandes consumidores en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM);
- Que**, la normativa emitida por el organismo regulador de electricidad para el fomento de energías renovables, desde el año 2000, estableció que la liquidación realizada por el CENACE a la demanda regulada y no regulada deberá considerar el cargo correspondiente para remunerar a los generadores no convencionales, en forma proporcional a su demanda;
- Que**, la Constitución de la República del Ecuador, publicada en el Registro Oficial No. 449 de 20 de octubre de 2008, en su artículo 314 preceptúa que el Estado será responsable de la provisión de servicios públicos, entre otros, el de energía eléctrica, de acuerdo con los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad;
- Que**, el 23 de julio de 2008, la Asamblea Constituyente expidió el Mandato Constituyente No.15, mediante el cual se establecieron varias disposiciones relacionadas con el sector eléctrico, facultando, a través de su artículo 1, al Consejo Nacional de Electricidad- ex CONELEC, sin limitación alguna, a establecer los nuevos parámetros regulatorios para que se aprueben los nuevos pliegos que permitan obtener una tarifa única que deben aplicar las empresas de distribución;
- Que**, *en aplicación a lo dispuesto en el Mandato Constituyente No. 15, el ex CONELEC emitió la Regulación Complementaria No. 1 para la Aplicación del Mandato Constituyente No. 15 (Regulación No. CONELEC 013/08), la cual fue expedida el 27 de noviembre de 2008, y la que define, a través del Capítulo IX, el mecanismo de comercializar y de liquidación de la energía renovable no convencional, cuyo concepto se alinea a lo establecido en el Reglamento para el Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista y su Reglamento Sustitutivo;*

Que, en el Tercer Suplemento del Registro Oficial No. 418 del 16 de enero de 2015, se promulgó la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), la cual estableció, a través de su Capítulo II contenido en el Título V, los lineamientos y criterios para el funcionamiento del sector eléctrico ecuatoriano;

Que, la LOSPEE tiene por objeto garantizar que el servicio público de energía eléctrica cumpla los principios constitucionales de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad, calidad, sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia;

Que, las transacciones de compras y ventas de energía eléctrica que se realicen entre los participantes del sector eléctrico a través de contratos, así como las transacciones de corto plazo, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 49 de la LOSPEE, serán liquidadas por el Operador Nacional de Electricidad (CENACE), dentro de sus competencias, sobre la base de la regulación expedida para el efecto;

Que, *en sesión de Directorio de 02 de diciembre de 2015 y dada la coyuntura de ámbito político se emitieron nuevas disposiciones respecto a la asignación de los costos producidos por las ERNC a la demanda no regulada, estableciéndose que, la liquidación realizada por el CENACE a los Distribuidores y Grandes Consumidores deberá considerarla totalidad de los costos correspondientes para remunerar a los generadores no convencionales. Para el caso de los distribuidores el valor correspondiente será asignado en forma proporcional a su demanda; mientras que para los grandes consumidores será en base a la energía no abastecida por el contrato suscrito con un generador particular;*

Que, en el Registro Oficial Suplemento No. 21 del 20 de agosto de 2019, se promulgó el Reglamento General a Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (RGLOSPEE), el cual establece disposiciones para la aplicación de la LOSPEE, para normar los derechos, obligaciones y funciones de los consumidores, instituciones y participantes del sector eléctrico;

Que, el Capítulo IV del RGLOSPEE establece las disposiciones para el régimen de funcionamiento en el sector eléctrico, determinándose, entre los aspectos más relevantes, los tipos y mecanismos aplicables a las transacciones a desarrollarse en el sector eléctrico;

Que, con Decreto Ejecutivo Nro. 1036 de 6 de mayo de 2020, el señor Presidente de la República dispone, en los artículos 1 y 2, lo siguiente:

“Artículo 1.- Fusiónesse la Agencia de Regulación y Control Minero, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad y la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos en una sola entidad denominada “Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.”

Artículo 2.- Una vez concluido el proceso de fusión, todas las atribuciones, funciones, programas, proyectos, representaciones y delegaciones constantes en leyes, decretos, reglamentos y demás normativa vigente que le correspondían a la Agencia de Regulación y Control Minero, a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad y a la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos, serán asumidas por la Agenciade Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.”;

Que, mediante Oficio Nro. ARCERNNR-ARCERNNR-2020-0119-OF de 2 de octubre de 2020, la ARCERNNR solicitó a los miembros del Directorio de la ARCERNNR la conformación de mesas técnicas de trabajo para la socialización de los proyectos de regulación y resolución, previo a someter a análisis y aprobación de Directorio, entre ellos el proyecto de Regulación denominado “Régimen de las Transacciones Comerciales del Sector Eléctrico”;

Que, en el marco de la Segunda Mesa Técnica Sector Eléctrico realizada el 12 de octubre de 2020, la Coordinación Técnica de Regulación y Control Eléctrico (CTRCE), puso en consideración del comité técnico el proyecto de regulación denominado “Régimen de las Transacciones Comerciales del Sector Eléctrico”, en cuya acta de la reunión Nro. CTRCE-2020-003, se emitió el siguiente pronunciamiento:

“1. Sobre la base del Oficio Nro. ARCERNNR-ARCERNNR-2020-0119-OF, respecto de los cuerpos normativos presentados en la mesa técnica del 12 de octubre de 2020, y luego de acoger las observaciones respectivas, el Comité Técnico manifiesta su conformidad respecto del proyecto presentado en la tercera mesa técnica, para lo cual emite su dictamen favorable.

2. En este contexto, este Comité Técnico considera pertinente que el Directorio Institucional, resuelva y apruebe el cuerpo normativo de la tercera mesa técnica.”;

Que, en sesión virtual de Directorio de la ARCERNNR de 23 de noviembre de 2020 se expidió, mediante Resolución Nro. ARCERNNR 025/2020, la Regulación Nro. ARCERNNR 005/20 denominada “Régimen de las transacciones comerciales en el sector eléctrico ecuatoriano”;

Que, *la primera disposición general de la Regulación Nro. ARCERNNR 005/20 dispone que, para la liquidación de las transacciones comerciales de generadores y excedentes de auto generadores que utilizan energías renovables no convencionales, y que se acogieron al esquema de condiciones preferentes previo a la expedición de la LOSPEE, el CENACE deberá liquidar la energía entregada al sistema con el cargo definido en sus Títulos Habitantes, cuyo valor será informado al CENACE por la ARCERNNR. Estos valores serán cubiertos por la demanda regulada y no regulada en proporción a su demanda comercial de potencia;*

Que, a partir de la emisión de la Regulación Nro. ARCERNNR 005/20, varias Empresas privadas de autogeneración se han dirigido al Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, a fin de exponer su preocupación y realizar consultas respecto a lo establecido en la Disposición General Primera de la referida Regulación que se refiere a la compensación de la demanda por los costos incurridos por la energía entregada por los generadores que se acogieron a la normativa para el fomento de energía renovable;

Que, mediante Oficio Nro. MERNNR-MERNNR-2021-0039-OF de 14 de enero de 2021, el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables señala que emitirá las directrices que correspondan a fin de que todas las regulaciones emitidas durante el último periodo por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, y las que se encuentren en proceso de elaboración, guarden concordancia con lo expuesto en dicho Oficio, a fin de evitar la emisión las resoluciones que no cumplan los valores fundamentales de seguridad jurídica y lealtad contractual;

Que, mediante Memorando Nro. ARCERNNR-CTRCE-2021-0039-ME del 29 de enero de 2021, el Coordinador Técnico de Regulación y Control Eléctrico remitió a la Coordinación General Jurídica el "INFORME DE ANÁLISIS DEL CRITERIO INCORPORADO EN LA DISPOSICIÓN GENERAL PRIMERA DE LA REGULACIÓN No. ARCENNR 005/20", con los sustentos técnicos sobre los cuales se estableció la Disposición General Primera por parte de la Dirección de Regulación Técnica del Sector Eléctrico;

Que, mediante Memorando Nro. ARCERNNR-CTRCE-2021-0042-ME del 02 de febrero de 2020, el Coordinador Técnico de Regulación y Control del Sector Eléctrico, remitió un Alcance al "INFORME DE ANÁLISIS DEL CRITERIO INCORPORADO EN LA DISPOSICIÓN GENERAL PRIMERA DE LA REGULACIÓN No. ARCENNR 005/20", en el cual se indica que:

“En reunión mantenida entre la Coordinación a mi cargo, la Coordinación General Jurídica – CGJ – y la Dirección Ejecutiva de esta Agencia, se acordó realizar un alcance al "INFORME DE ANÁLISIS DEL CRITERIO INCORPORADO EN LA DISPOSICIÓN GENERAL PRIMERA DE LA REGULACIÓN No. ARCENNR 005/20" y, en virtud de que el análisis se debe centrar en las condiciones contractuales de los auto generadores y las regulaciones vigentes al momento de la firma del contrato, se determinó que la Agencia tiene las condiciones para realizar el alcance al informe sin realizar las consultas, a otras instituciones, recomendadas anteriormente. En el informe adjunto se plantean unas conclusiones y recomendaciones para que sean analizadas y, en casode ser pertinentes desde el punto de vista jurídico, contar con su pronunciamiento”;

Que, mediante Memorando Nro. ARCERNNR-CGJ-2021-0070-ME del 2 de febrero de 2021, la Coordinación General Jurídica emite el informe Nro. 2021-DAJPI-001 denominado “MODIFICACIÓN A LA REGULACIÓN Nro. 005/20”, con su correspondiente anexo. Del informe se extrae en su parte concluyente, lo siguiente:

“Sobre la base de los Informes Técnicos presentados por la Coordinación Técnica de Regulación y Control Eléctrico de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, amparándose en el artículo 82 de la Constitución de la República; se recomienda que es fundamental ajustar la Disposición General Primera de la Regulación Nro. ARCERNNR 005/20, a fin de garantizar la transparencia y seguridad jurídica de las empresas del sector eléctrico a través del mejoramiento de las regulaciones, conforme lo establece en el artículo 1 del Decreto Ejecutivo Nro. 1204.”;

Que, la Coordinación General Jurídica Institucional, sustentada en informe Nro. 2021-DAJPI- 001 denominado “MODIFICACIÓN A LA REGULACIÓN Nro. 005/20”, propone el siguiente texto para la Disposición General Primera de la Regulación Nro. ARCERNNR005/20:

“PRIMERA: Para la liquidación de las transacciones comerciales de generadores excedentes de auto productores que utilizan energías renovables no convencionales, y que se acogieron al esquema de condiciones preferentes previo a la expedición de la LOSPEE, el CENACE deberá liquidar la energía entregada al sistema con el precio definido en sus Títulos Habilitantes, cuyo valor será informado al CENACE por la ARCERNNR. Estos valores serán cubiertos por la demanda regulada y no regulada en proporción a su demanda comercial de energía. Para el caso de los auto productores estos valores serán cubiertos únicamente por sus déficits de generación, es decir por la demanda de energía ligada a los consumos propios que no fueron abastecidos por su autogeneración.”;

Que, la Coordinación Técnica de Regulación y Control Eléctrico, con Memorando Nro. ARCERNNR-CTRCE-2021-0048-ME del 02 de febrero de 2021, le dispone a la Dirección de Regulación Técnica del Sector Eléctrico, lo siguiente:

“Por lo antes expuesto, y sobre la base de las directrices emitidas por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, en reuniones mantenidas con dicha Cartera de Estado, el 29 de enero y el 01 de febrero del presente año, concordantes con el pronunciamiento jurídico de esta Agencia, mucho agradeceré a usted, conforme el procedimiento para emisión de normativa, se sirva efectuar el análisis respectivo de la Regulación 005/20 de sustento para la reforma correspondiente.”;

Que, mediante Memorando Nro. ARCERNNR-CTRCE-2021-0050-ME del 03 de febrero de 2021, la Coordinación Técnica de Regulación y Control Eléctrico solicitó el correspondiente informe legal a la Coordinación Jurídica, al proyecto de Resolución para reformar la Regulación Nro. ARCERNNR-005/20;

Que, la Coordinación Jurídica, con Memorando Nro. ARCERNNR-CGJ-2021-0078-ME del 03 de febrero de 2021, emitió el informe jurídico favorable, en los siguientes términos:

“Al respecto, toda vez que esta Coordinación ha revisado y analizado la información presentada por el Coordinador Técnico de Regulación y Control Eléctrico, sobre la base del Informe Nro. DNRT-2021-007 elaborado por la Dirección de Regulación Técnica del Sector Eléctrico, esta Coordinación General Jurídica expresa conformidad con el texto del proyecto de Resolución puesto a nuestro conocimiento. Sin perjuicio de lo antes indicado, sobre los aspectos técnicos y económicos no me pronuncio por no ser de mi competencia.”;

Que, mediante Memorando Nro. ARCERNNR-CTRCE-2021-0057-ME del 04 de febrero de 2021, la Coordinación Técnica de Regulación y Control Eléctrico puso a consideración de la Dirección Ejecutiva el proyecto de Resolución para reformar la Regulación Nro. ARCERNNR-005/20, en el que se recomienda se autorice proseguir con el trámite para la presentación ante el Directorio Institucional;

Que, la Dirección Ejecutiva de la ARCERNNR, a través del Oficio Nro. ARCERNNR-ARCERNNR-2021-0072-OF de 05 de febrero de 2021, expresó su conformidad con el contenido y resultados de los Informes Técnicos e Informe Legal, por lo que, puso en conocimiento de los miembros del Directorio, toda la documentación inherente al proyecto de Resolución para reformar la Regulación Nro. ARCERNNR-005/20, para su respectivo trámite; así mismo, por disposición del señor Presidente del Directorio de la Agencia, según lo dispuesto en el Decreto Ejecutivo Nro. 1036, convocó a sesión virtual, a realizarse el lunes 08 de febrero de 2021; y,

En ejercicio de las atribuciones y deberes de la Agencia y de su Directorio, de acuerdo con el artículo 15 numerales 1 y artículo 17 numeral 2 de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, respectivamente, conforme lo dispuesto en el Decreto Ejecutivo Nro. 1036, el Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, por unanimidad.

RESUELVE:

1. Avocar conocimiento de los informes presentados por la Agencia, contenidos en el Oficio Nro. ARCERNNR-ARCERNNR-2021-0072-OF de 5 de febrero de 2021.
2. Acoger el análisis legal emitido por la Coordinación General Jurídica de la Agencia, el cual consta en el Memorando Nro. ARCERNNR-CGJ-2021-0070-ME del 02 de febrero de 2021, en el que se recomienda que es fundamental ajustar la Disposición General Primera de la Regulación Nro. ARCERNNR 005/20, a fin de garantizar la transparencia y seguridad jurídica de las empresas del sector eléctrico.
3. Sustituir la Disposición General Primera de la Regulación Nro. ARCERNNR 005/20, con el siguiente texto:

***“PRIMERA:** Para la liquidación de las transacciones comerciales de generadores y excedentes de auto productores que utilizan energías renovables no convencionales, y que se acogieron al esquema de condiciones preferentes previo a la expedición de la LOSPEE, el CENACE deberá liquidar la energía entregada al sistema con el precio definido en sus Títulos Habilitantes, cuyo valor será informado al CENACE por la ARCERNNR. Estos valores serán cubiertos por la demanda regulada y no regulada en proporción a su demanda comercial de energía. Para el caso de los auto productores estos valores serán cubiertos únicamente por sus déficits de generación, es decir por la demanda de energía ligada a los consumos propios que no fueron abastecidos por su autogeneración.”*

4. Esta Resolución entrará en vigor a partir de su suscripción sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial, y de su aplicación se encargará el Ministerio Rector y la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

Dado en la ciudad de San Francisco de Quito, Distrito Metropolitano, a los ocho días del mes de febrero del año dos mil veinte y uno.



Firmado electrónicamente por:
**MARIA JOSE
RENERIA
LANDIVAR**

Abg. María José Rentería Landívar
**DELEGADA DEL SEÑOR MINISTRO DE ENERGÍA Y RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES
PRESIDENTA DEL DIRECTORIO.**



Firmado electrónicamente por:
**SANTIAGO
DAVID
AGUILAR
ESPINOZA**

Mgs. Santiago Aguilar Espinoza
**DIRECTOR EJECUTIVO (E)
SECRETARIO DEL DIRECTORIO
AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES.**



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **César Antonio Cáceres Galán**, con C.C: # **0911477776** autor del trabajo de titulación: **MODELAJE DE UN SISTEMA HIBRIDO EÓLICO - SOLAR PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ELECTRIFICACIÓN EN POBLACIONES DEL GOLFO DE GUAYAQUIL MEDIANTE MATLAB & SIMULINK**, previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 27 de marzo de 2024

f. 

Nombre: **César Antonio Cáceres Galán**

C.C: **0911477776**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Modelaje de un sistema híbrido eólico - solar para el análisis del comportamiento de electrificación en poblaciones del golfo de Guayaquil mediante Matlab & Simulink		
AUTOR(ES)	Msc. César Antonio Cáceres Galán		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Gustavo Mazzini Muñoz, MSc. Diana Bohórquez Heras / MSc. Celso Bohórquez Escobar		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Electricidad		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	27 de marzo del 2024	No. DE PÁGINAS:	79
ÁREAS TEMÁTICAS:	ENERGIAS RENOVABLES, VINCULACIÓN CON LA COLECTIVIDAD, GENERACIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA LIMPIA.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	SISTEMAS HIBRIDOS, ELECTRIFICACIÓN RURAL, ENERGIAS RENOVABLES, SIMULACIÓN MEDIANTE HOMER Y MATLAB.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El proyecto se diseñó mediante el modelaje de un sistema híbrido eólico/solar fotovoltaico para analizar el comportamiento de la electrificación en la generación de energía para una población aislada de la red de energía convencional, específicamente el sector MASA 2 que cuenta con aproximadamente con 85 habitantes y está ubicada en el Golfo de Guayaquil la misma que es declarada como reserva ecológica protegida.</p> <p>Las variables meteorológicas usadas fueron medidas durante veinte años, datos obtenidos del Instituto Oceanográfico del Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y bases meteorológicas disponibles. El punto inicial de partida de la simulación donde se utiliza el software HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) y como resultado de dicha simulación del programa HOMER se presenta en una tabla todos los resultados de las diferentes combinaciones de acuerdo con las variantes de forma ordenada y usando el capital inicial como punto de referencia.</p> <p>Del mismo modo se utilizó el software Matlab (Matrix LABORatory) con la herramienta adjunta Simulink para calcular y comprobar la viabilidad del proyecto y sus componentes. Finalmente, combinando los criterios técnico-económicos de la simulación, tales como el costo de la energía eléctrica, costo del sistema y la demanda insatisfecha de la carga debido a la pobreza energética del sector, se seleccionó la variante que mejor se ajusta a las necesidades de la población indicada.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +598-7234262	E-mail: cesar.caceres@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar		
	Teléfono: +593-995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			